

基于 LAHP-TOPSIS 方法的围填海方案选择研究

刘培德, 刘微俏

(山东财经大学 管理科学与工程学院 济南 250014)

摘要: 针对围填海不同规模方案的选择问题, 目前已有很多文献建立了评价指标体系, 然而利用数学算法进行评价研究的还比较少。文章以现存的评价指标体系和专家评分为基础, 利用语言层次分析法(LAHP)来计算各个评价指标的权重, 并采用多属性决策方法——逼近理想点法(TOPSIS)对不同规模的围填海方案进行排序, 从而选出最优方案。进一步用实际的例子, 说明了利用 LAHP-TOPSIS 方法进行方案排序的步骤, 给出了评价结果。结果显示: 文章提出的评价方法能够为沿海及港口城市围填海方案提供有效的评价工具, 对于围填海规模方案选择具有重要意义。

关键词: 围填海; 规模选择; LAHP 方法; TOPSIS 方法; 多属性决策

中图分类号: P74 文献标志码: A 文章编号: 1005—9857(2017)07—0020—07

Alternative Selection of Sea Reclamation Based on the LAHP and TOPSIS Methods

LIU Peide, LIU Weiqiao

(School of Management Science and Engineering, Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250014, China)

Abstract: Aiming at the problem of scheme selection of the sea reclamation scale, there are many researches on the evaluation index system. However, there are still few studies about evaluation methods for mathematical algorithms. In this paper, on the basis of the existing and expert scores, the Linguistic Analytic Hierarchy Process (LAHP) was used to determine the weight of each evaluation index, and a multi-attribute decision making method, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), was used to rank the alternatives of the sea reclamation in different scales, and to select the best alternative. A further actual application example was used to explain the evaluation steps by the LAHP-TOPSIS method, and the evaluation results were obtained. The result shows that the proposed methodology can provide an effective and reliable evaluation tool for reclamation in coastal and port cities, and it is of great significance to select the alternatives of the sea reclamation in the different scale.

收稿日期: 2017-03-23; 修订日期: 2017-05-23
基金项目: 国家自然科学基金项目(71471172 和 71271124); 山东省社会科学基金项目(15BGLJ06, 16CGLJ31 和 16CKJJ27); 山东省泰山学者工程专项经费资助项目。
作者简介: 刘培德, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向为评价理论与方法, 海洋经济与管理

Key words: Sea reclamation, Scale selection, LAHP method, Hierarchy TOPSIS method, Multiple attributes decision making

1 引言

陆地生存面积形势紧迫,使人类开始对海洋空间进行不断探索,近年来围填海成为人类研究的热议论题。为缓解生态资源与现存陆地生存面积日益紧缺的矛盾,人们日趋意识到面向海洋发展的重要性,而围填海变为沿海地区缓解陆地资源紧缺、开拓陆地生存面积快速便捷的获得方式。大量的围填海显著提高了规模经济收益和社会效益,但同样也给良好的海洋生态系统造成深远的影响。迄今国内外研究者已经针对围填海造成的影响展开了多方面探索,例如对沿海地形地貌的影响^[1-2]、对海洋生态系统功能价值的影响^[3-4]、对海洋环境条件的影响^[5]、对沿海地区综合效益的影响^[6],然而他们的研究都很单一,并且都没有对围填海项目实施的前期影响因素进行着重研究。刘佰琼等^[7]构建了 4 个方面的评价要素:自然条件、社会经济条件、资源环境影响、效益评估,共 15 个评价指标,并且应用到港口及临港产业围填海规模综合评价研究。

纵观已有研究成果,多数都是对围填海评价指标的构建,鲜少有对围填海规模方案选择的方法进行探讨。为了提高围填海规模选择的科学性和有效性,本研究将基于语言的 AHP(LAHP)方法和 TOPSIS 方法相结合,提出以 LAHP-TOPSIS 为基础的围填海规模方案选择评定方法。传统的 AHP (Analytic Hierarchy Process) 方法^[8]在 20 世纪 70 年代首先由运筹学家 T. L. Saaty 教授提出。它是指决策者根据一定的重要性标度对任意两个属性进行比较,其次构造判断矩阵,然后按照规定的排序方法计算属性的权重向量,是一种有效的主观权重确定方法。之后陈侠,樊治平等^[9-10]提出基于语言的群决策方法和基于语言判断矩阵的一致性及其排序方法。本研究将两者结合,采用基于 LAHP 方法,可以得到更精确的指标权重,从而提高数据的准确性。TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) 方法是由 Hwang 和 Yoon 于 1981 年首次提出的一种称为逼近理想解的

多属性排序方法^[11-13],是根据与理想目标距离,根据先后顺序进行选优的技术,是有效性很高的多目标决策分析方法。该方法已经成功应用在众多领域,并且显著提高了多目标决策科学性、有效性和实践性。

本研究着重构建 LAHP 和 TOPSIS 相结合的数学方法,并以刘佰琼等^[7]提出的围填海评价指标体系数据进行围填海规模方案的选择为例进行阐述。两种方法相结合不仅可以考虑定性因素,也能够充分考虑定量因素,来提高评价的有效性。从而将围填海的前期损失降到最低,得到更加有效和说服力的结果,对于围填海的前期控制具有重要的理论意义。

2 基于语言的层次分析法

语言变量是将人们使用的自然语言中一些有规律的字、词或短语组合在一起并视为变量,组成模糊集合(称为语言集),并建立隶属函数来表示每个变量的隶属程度。一般可以通过采用语言集(非常差,差,中等,好,非常好)中的某个词来评价某个属性。设语言评价集为 $S = (S_0, S_1, \dots, S_{l-1})$, 其中 l 为奇数。一般地,取 $l = 3, 5, 7, 9$ 等。如 $l = 7$, 其表示为: $S = (S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6) = (\text{很差}, \text{差}, \text{中下}, \text{中}, \text{中上}, \text{好}, \text{很好})$ 。对于任意语言评价集 S , 都满足以下条件^[14-15]:

- (1) 若 $i > j$, 则 $S_i > S_j$ (即: S_i 优于 S_j)。
- (2) 存在逆算子 $neg(S_i) = S_j$, 使得 $j = l - 1 - i$;
- (3) 若 $S_i \geq S_j$ (即 S_i 不劣于 S_j), $\max(S_i, S_j) = S_i$;
- (4) 若 $S_i < S_j$ (即 S_i 不优于 S_j), $\min(S_i, S_j) = S_j$ 。

本研究主要通过语言层次分析法计算各属性权重。

2.1 建立问题的层次递阶结构

针对给定的问题,按照因素的属性进行分层,每一层为一个组,最高层为目标层,即 AHP 最后得

出针对目标层的各因素的权重。中间层表示达到目标经过的中间步骤,这里我们称作一级指标(也可以称作准则层等)。如图 1 所示。

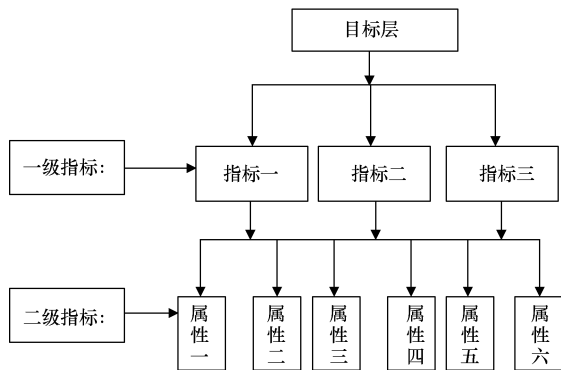


图 1 AHP 层次

2.2 构造判断矩阵

设一级指标为 A_k , 二级指标为 B_n 。 b_{ij} 表示相对于 A_k 元素来说, 第 i 个属性与第 j 个属性重要性之比的语言表示, 其值从给定的语言集 $S = \{S_0, S_1, \dots, S_l\}$ 中选择。将决策制定者对于属性集 $B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ 给出的任意两个属性的比较偏好信息表示为一类语言判断矩阵的形式。设单准则下各个指标之间相比较所得判断矩阵为:

$$P = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

根据各元素在语言集 S 中的含义, 可对 P 中的元素 $b_{ij} = S_y, S_y \in S$, 规定如下:

(1) $b_{ij} = S_{l/2}$, 说明 B_i 与 B_j 两个属性无差别, 表示为 $B_i \sim B_j$;

(2) $S_0 \leq b_{ij} < S_{l/2}$, 说明属性 B_j 比 B_i 重要, 记为 $B_j > B_i$, 并且 y 越小, 表明属性 B_j 越重要于属性 B_i ;

(3) $S_{l/2} < b_{ij} \leq S_l$, 说明属性 B_i 比 B_j 重要, 记为 $B_i > B_j$, 并且 y 越大, 表明属性 B_i 越重要于 B_j 。 $B_i \geq B_j$, 表示属性 B_j 的重要性不大于属性 B_i 。

2.3 语言判断矩阵的一致性检验

定义 1^[9-10]: 设有序语言短语集为 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_{l/2}, S_{l/2+1}, \dots, S_l\}$, 其中第 y 个语言短语表示为 $S_y \in S$, 其下标 y 可通过以下函数 I 得到:

$$I: S \rightarrow N \quad (2)$$

$$I(S_y) = y \quad (3)$$

其中, N 为整数集。

定义 2^[9-10]: 设 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_{l/2}, S_{l/2+1}, \dots, S_l\}$ 为有序语言短语集, $S_y \in S$ 为第 y 个语言短语, 与 y 相对的有序语言短语表达形式可根据以下的 I^{-1} 得到:

$$I^{-1}: N \rightarrow S \quad (4)$$

$$I^{-1}(y) = S_y, y \in [0, 1, 2, \dots, l] \quad (5)$$

易得, 该函数具有以下性质:

(1) 函数 $I(S_y)$ 和 $I^{-1}(y)$ 单调递增, 即如果 $S_y > S_i$, 则函数 $I(S_y) > I(S_i)$; 同理 $I^{-1}(y)$ 也具有此性质;

(2) 互补性, 如果 $y + i = l$, 即 $I(S_y) + I(S_i) = l$ 。

定义 3^[16]: $P = (b_{ij})_{n \times n}$ 是语言判断矩阵, 若对于 $\forall i, j, y \in \{1, 2, \dots, n\}$, 都有 $a_{iy} \otimes a_{yj} = a_{ij}$, 那么我们称 P 拥有完全一致性或是完全一致的。

定义 4^[16]: 设矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 是由语言判断矩阵 P 中的构成元素 b_{ij} 构成, 其元素计算公式如下:

$$r_{ij} = \exp\left(\frac{I(b_{ij}) - l/2}{l/2}\right), b_{ij} \in S, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

则称 R 是语言判断矩阵 P 的导出矩阵。

根据定义 2 和定义 4, 易得导出矩阵拥有如下性质^[17]:

(1) R 是正矩阵, 即它的元素满足: $r_{ij} > 0$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ 。

(2) R 是互反矩阵, 即它的元素满足: $r_{ij} = \frac{1}{r_{ji}}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ 。

设 $\lambda_{\max}$ 为相对于语言判断矩阵 P 的导出矩阵 R 的最大特征值, 如果 $\lambda_{\max} = n$, 则 P 是完全一致的。

定义 5^[16]: 语言判断矩阵 P , 对于 $i, j, y = 1, 2, \dots, n$, 若满足:

(1) 当 $b_{iy} \geq S_{l/2}, b_{yj} \geq S_{l/2}$ 时, 有 $b_{ij} \geq S_{l/2}$ 。

(2) 当 $b_{iy} < S_{l/2}, b_{yj} < S_{l/2}$ 时, 有 $b_{ij} < S_{l/2}$ 。

那么称 P 具有满意一致性。

定理^[9]: 语言判断矩阵 P 符合满意一致性的充要条件为与它相对的导出矩阵 R 符合:

(1) 当 $r_{iy} \geq 1, r_{yj} \geq 1$ 时, 有 $r_{ij} \geq 1$ 。

(2) 当 $r_{iy} < 1, r_{yj} < 1$ 时, 有 $r_{ij} < 1$ 。

2.4 权重的确定方法

对于语言判断矩阵 $\mathbf{P}$, 我们可把导出矩阵 $\mathbf{R}$ 看作 Saaty 的 9 个重要性标度的判断矩阵的另一种表达方式^[10]。所以标准化矩阵 $\mathbf{R}$ 对应的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 的特征向量后, 此向量可以作为判断矩阵 $\mathbf{P}$ 的方案权重向量。

设导出矩阵为:

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{pmatrix} \quad (7)$$

计算判断矩阵 $\mathbf{R}$ 的特征向量:

(1) 对每列归一化:

$$e_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^n r_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

(2) 归一化后的每一列按行求和:

$$u_{ij} = \sum_{i=1}^n e_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

(3) 将向量 u_{ij} 做归一化处理:

$$\omega_i = u_i / \sum_{i=1}^n u_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

即得所求特征向量为: $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$, 即判断矩阵 $\mathbf{P}$ 的方案权重向量。

3 TOPSIS 方法

TOPSIS 方法是一种有效的逼近理想解的顺序选优技术。其基本思想是: 首先把综合评价的各个指标转化成矩阵, 进而将矩阵归一化后确定理想解和负理想解。其次通过计算每个被评价方案同理想解的接近度, 既同理想解与负理想解的距离, 最终比较得出综合评价排名。

设在 n 个属性下评估 m 个方案, 运用基于多目标决策方法中理想解(理想方案)和负理想解(负理想方案)的思想^[18-19]。理想解作为各评估指标中最好的解(记作 Z^+), 其对应的每个指标值都为全部备选方案中的最好值, 同理, 负理想解则作为评估指标中的最坏解(记作 Z^-), 其对应的每个指标值都为全部备选方案中的最坏值。把原方案集 B 中的各个方案同 Z^+ 和 Z^- 作比较, 由它们之间的距离信息 d 为标准得出 m 个方案的排序。计算各评估方案同 Z^+ 或 Z^- 的相对接近度 C_i , 然后依据 C_i 的

大小得出方案的优劣总排序。

设 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ 为权重, $\mathbf{V} = (v_{ij})_{m \times n}$ 为规范化决策矩阵。

步骤①: 构造加权规范化矩阵

$$\mathbf{Z} = (Z_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} \omega_1 r_{11} & \omega_2 r_{12} & \cdots & \omega_n r_{1n} \\ \omega_1 r_{21} & \omega_2 r_{22} & \cdots & \omega_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \omega_1 r_{m1} & \omega_2 r_{m2} & \cdots & \omega_n r_{mn} \end{pmatrix} \quad (11)$$

步骤②: 计算方案理想解及负理想解的:

$$Z_j^+ = \max_i (z_{ij}) \quad (12)$$

$$Z_j^- = \min_i (z_{ij}) \quad (13)$$

其中 $j = 1, 2, \dots, n$

步骤③: 计算距离

评价方案与 Z_j^+ 和 Z_j^- 的距离计算如下:

$$d_i^+ = \left[\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^+)^2 \right]^{1/2} \quad (14)$$

$$d_i^- = \left[\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^-)^2 \right]^{1/2} \quad (15)$$

其中 $i = 1, 2, \dots, m$

步骤④: 确定相对接近度

评价方案和理想解的相对接近度如下:

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (16)$$

步骤⑤: 方案排序

评价方案的优劣排序可以依照 C_i 大小进行判断。 C_i 越大, 方案越优。

4 实例分析

本研究引用江苏辐射沙洲半岛式浅滩——腰沙港口及临港工业围填海^[7]的例子展开研究。有 4 种($n=4$)围填海方案可供选择, 设 A 为方案集, 定义为: $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4\}$ 。其中: $A_1 = \{\text{理论基面} + 2.8 \text{ m}\}$, $A_2 = \{\text{理论基面} + 3.0 \text{ m}\}$, $A_3 = \{\text{理论基面} + 3.2 \text{ m}\}$, $A_4 = \{\text{理论基面} + 3.4 \text{ m}\}$ 。本研究主要探究最适的围填海规模, 一级指标属性集为 B , 定义为 $B = \{B_1, B_2, B_3, B_4\}$, 其中有 m 个二级属性指标, 分别为 $B_1 = \{\text{自然条件}\}$, $B_2 = \{\text{社会经济条件}\}$, $B_3 = \{\text{资源环境影响}\}$, $B_4 = \{\text{效益评估}\}$ 。其中各个属性的评价指标例子中已给出, 数据规范化后如表 1 所示。

表 1 围填海规模方案各评价指标的属性值

评价要素	评价指标	理论基面/m				指标属性
		A_1	A_2	A_3	A_4	
自然条件 B_1	深水近岸 B_{11}	1	0.935 1	0.810 8	0.643 2	正向
	岸滩资源 B_{12}	1	0.935 1	0.810 8	0.643 2	正向
	宜建港口规模 B_{13}	1	0.893 8	0.756 0	0.683 5	正向
	海洋环境容量 B_{14}	1	0.890 0	0.760 0	0.680 0	正向
社会经济条件 B_2	港口腹地经济水平 B_{21}	1	0.890 0	0.760 0	0.680 0	正向
	人均土地面积 B_{22}	1	0.890 0	0.760 0	0.680 0	正向
	基础设施配套 B_{23}	0	0.343 8	0.750 0	1	正向
	集疏运条件 B_{24}	1	0.890 0	0.760 0	0.680 0	正向
资源环境影响 B_3	新增码头岸线长度 B_{31}	1	0.883 9	0.727 2	0.545 6	正向
	底栖生物损失量 B_{32}	1.398 2	1.224 8	1.118 3	1	正向
	占用海域面积 B_{33}	1.686 5	1.474 6	1.220 7	1	正向
	污染物年排放量 B_{34}	1.463 0	1.307 7	1.106 0	1	正向
效益评估 B_4	围填海经济效益 B_{41}	1	0.897 9	0.767 6	0.739 5	正向
	可增加的就业人口 B_{42}	1	0.894 1	0.755 9	0.683 1	正向
	对区域发展的带动作用 B_{43}	1	0.893 8	0.756 0	0.683 5	正向

4.1 利用基于语言的 AHP 计算权重

采用语言 AHP 方法确定指标权重,通过对 12 位专家的调查,语言变量集采用 $S=\{S_0,S_1,\cdots,S_6\}=\{\text{很重要,不重要,稍微差,同等重要,稍微重要,重要,很重要}\}$ 。构造如下的判断矩阵:

(1)第一层次指标针对目标层的判别矩阵 P (图 2)。

A_k	B_1	B_2	B_3	B_4
B_1	S_3	S_6	S_5	S_4
B_2	S_0	S_3	S_2	S_1
B_3	S_1	S_4	S_3	S_2
B_4	S_2	S_5	S_4	S_3

图 2 判别矩阵 P

(2)导出矩阵如图 3 所示。由此,得到权重为:
 $(\omega_{B_1}, \omega_{B_2}, \omega_{B_3}, \omega_{B_4})=(0.385, 0.142, 0.198, 0.276)$ 经过检验,符合一致性条件。

(3)同理,第二层次指标相对于第一层次指标的判别矩阵 P_1, P_2, P_3, P_4 和导出矩阵 R_1, R_2, R_3, R_4 分别为(图 4 至图 11)。

A_k	B_1	B_2	B_3	B_4
B_1	1	2.718	1.948	1.396
B_2	0.368	1	0.717	0.513
B_3	0.513	1.396	1	0.717
B_4	0.717	1.948	1.396	1

图 3 导出矩阵 R

B_1	B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}
B_{11}	S_3	S_2	S_4	S_5
B_{12}	S_4	S_3	S_5	S_6
B_{13}	S_2	S_1	S_3	S_4
B_{14}	S_1	S_0	S_2	S_3

图 4 判别矩阵 P_1

B_1	B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}
B_{11}	1	0.717	1.396	1.948
B_{12}	1.396	1	1.948	2.718
B_{13}	0.717	0.513	1	1.396
B_{14}	0.513	0.368	0.717	1

图 5 导出矩阵 R_1

B_2	B_{21}	B_{22}	B_{23}	B_{24}
B_{21}	S_3	S_3	S_4	S_2
B_{22}	S_3	S_3	S_4	S_2
B_{23}	S_2	S_2	S_3	S_1
B_{24}	S_4	S_4	S_5	S_3

图 6 判别矩阵 P_2

B_2	B_{21}	B_{22}	B_{23}	B_{24}
B_{21}	1	1	1.396	0.717
B_{22}	1	1	1.396	0.717
B_{23}	0.717	0.717	1	0.513
B_{24}	1.396	1.396	1.948	1

图 7 导出矩阵 R_2

B_3	B_{31}	B_{32}	B_{33}	B_{34}
B_{31}	S_3	S_5	S_6	S_4
B_{32}	S_1	S_3	S_4	S_2
B_{33}	S_0	S_2	S_3	S_1
B_{34}	S_2	S_4	S_5	S_3

图 8 判别矩阵 P_3

B_3	B_{31}	B_{32}	B_{33}	B_{34}
B_{31}	1	1.948	2.718	1.396
B_{32}	0.513	1	1.396	0.717
B_{33}	0.368	0.717	1	0.513
B_{34}	0.717	1.396	1.948	1

图 9 导出矩阵 R_3

B_4	B_{41}	B_{42}	B_{43}
B_{41}	S_3	S_4	S_2
B_{42}	S_2	S_3	S_1
B_{43}	S_3	S_5	S_3

图 10 判别矩阵 P_4

B_4	B_{41}	B_{42}	B_{43}
B_{41}	1	1.396	0.717
B_{42}	0.717	1	0.513
B_{43}	1.396	1.948	1

图 11 导出矩阵 R_4

二级指标对于一级指标的权重分别为:

$$(\omega_{B_{11}}, \omega_{B_{12}}, \omega_{B_{13}}, \omega_{B_{14}}) = (0.276, 0.385, 0.198, 0.142)$$

$$(\omega_{B_{21}}, \omega_{B_{22}}, \omega_{B_{23}}, \omega_{B_{24}}) = (0.243, 0.243, 0.174, 0.339)$$

$$(\omega_{B_{31}}, \omega_{B_{32}}, \omega_{B_{33}}, \omega_{B_{34}}) = (0.385, 0.198, 0.142, 0.276)$$

$$(\omega_{B_{41}}, \omega_{B_{42}}, \omega_{B_{43}}) = (0.321, 0.230, 0.448)$$

(4)求解二级指标针对目标层的权重,即

$$\omega_{ij} = \omega_{B_j} \times \omega_{B_{ij}}, i = 4$$

易得二级指标各属性权重为:

$$\omega = \begin{pmatrix} 0.106\ 2, 0.148\ 2, 0.076\ 1, 0.054\ 5, 0.034\ 4, \\ 0.034\ 4, 0.024\ 7, 0.048\ 1, 0.076\ 1, 0.039\ 1, \\ 0.028\ 0, 0.054\ 5, 0.088\ 6, 0.063\ 5, 0.012\ 37 \end{pmatrix}$$

4.2 运用 TOPSIS 方法确定最优围填海方案规模

(1)构造各方案对于属性 B_1 的加权规范化矩阵,得

$$Z_1 = \begin{pmatrix} 0.106\ 2, 0.148\ 2, 0.076\ 1, 0.054\ 5 \\ 0.099\ 3, 0.138\ 6, 0.068\ 0, 0.048\ 5 \\ 0.086\ 1, 0.120\ 1, 0.057\ 5, 0.041\ 4 \\ 0.068\ 3, 0.095\ 3, 0.052\ 0, 0.037\ 1 \end{pmatrix}$$

(2)利用式(12)和式(13)易得评价方案的 Z_j^+ 和 Z_j^- 为:

$$Z_1^+ = (0.106\ 2, 0.148\ 2, 0.076\ 1, 0.054\ 5),$$

$$Z_1^- = (0.068\ 3, 0.095\ 3, 0.052\ 0, 0.037\ 1)$$

(3)利用式(14)和式(15)计算距离。得评价方案同 Z_1^+ 和 Z_1^- 的距离如下:

$$d_1^+ = (0, 0.015\ 5, 0.041\ 3, 0.071\ 5),$$

$$d_1^- = (0.071\ 5, 0.056\ 7, 0.031\ 3, 0)$$

(4)根据式(16)确定相对接近度

$$C_1 = (0, 0.214\ 9, 0.568\ 5, 1)$$

同理可得

$C_2 = (0.529\ 8, 0.517\ 0, 0.476\ 2, 0.470\ 2)$

$C_3 = (0.542\ 7, 0.547\ 0, 0.549\ 8, 0.548\ 2)$

$C_4 = (0, 0.347\ 8, 0.792\ 7, 1)$

(5)方案优劣排序。以 $Z = (C_1^T, C_2^T, C_3^T, C_4^T)$ 作为评估各方案优劣的决策矩阵,根据以上步骤可得:

$C = (0.959\ 5, 0.712\ 7, 0.330\ 6, 0.040\ 5)$

所以方案排序为 $A_1 > A_2 > A_3 > A_4$,即本案例的最优围填海方案是理论基面+2.8 m。

5 结论

根据已有的指标体系,通过专家打分,利用 LAHP 方法确定权重,可以得到更精确的指标权重,提高数据的准确性。并运用 TOPSIS 方法提供了具体的量化方法,决策制定者对每一个备选方案在每条属性下的评价值进行规范化,构成决策矩阵,进一步通过计算每个备择方案的综合评价结果进行优劣排序,最后筛选出最佳的围填海规模方案。LAHP 同 TOPSIS 两种方法相结合,不但考虑了定性因素的影响,同时也考虑定量因素,进而提高评价的有效性。选择合适的围填海方案,将围填海的前期损失降到最低,对于围填海城市前期和后期的经济发展方向有着重大的实践意义。

参考文献

[1] PENG B R, HONG H S, HONG J M, et al. Ecological damage appraisal of sea reclamation and its application to the establishment of usage charge standard for filled seas: case study of Xiamen, China [J]. Environmental Informatics, Proceedings, 2005, 3: 153-165.

[2] 侯庆志, 季荣耀, 左利钦, 等. 曹妃甸海域围填海工程动力地貌环境遥感分析[J]. 水利水运工程学报, 2013(3): 1-7.

[3] KOOB J, SHIN S H, LEE S. Changes in benthic macrofauna of the Saemangeum tidal flat as result of a drastic tidal reduction

[J]. Ocean and Polar Research, 2008, 30(4): 373-545.

[4] 索安宁, 张明慧, 于永海, 等. 曹妃甸围填海工程的海洋生态服务功能损失估算[J]. 海洋科学, 2012, 36(3): 108-114.

[5] OSPAR Commission. Assessment of environmental impact of land reclamation[R]. UK: OSPAR Commission, 2008.

[6] 刘晴, 徐敏. 江苏省围填海综合效益评估[J]. 南京师范大学学报(自然科学版), 2013, 36(3): 125-130.

[7] 刘佰琼, 徐敏, 刘晴. 港口及临港工业围填海规模综合评价研究[J]. 海洋科学, 2015, 39(6): 81-87.

[8] SAATY T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.

[9] 陈侠, 樊治平, 陈岩. 基于语言判断矩阵的一致性及其排序方法[J]. 系统工程, 2007, 25(2): 106-110.

[10] 陈岩, 樊治平. 基于语言判断矩阵的群决策方法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2004, 25(3): 303-306.

[11] HWANG C L, YOON K L. Multiple attribute decision making- methods and applications[M]. New York: Springer-verlag, 1981.

[12] LIU P D. Multi-attribute decision-making method research based on interval vague set and TOPSIS method[J]. Technological and Economic Development of Economy, 2009, 15(3): 453-463.

[13] LIU P D, ZHANG, X. The study on multi-attribute decision-making with risk based on linguistic variable[J]. International Journal of Computational Intelligence Systems, 2010, 3(5): 601-609.

[14] 徐泽水. 基于语言信息的决策理论与方法[D]. 北京: 科学出版社, 2008: 34-35, 146-151.

[15] HERRERA F, HERRERA V E, VERDEGAY J L. A model of consensus in group decision making under linguistic assessments[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 78(1): 73-87.

[16] 苏哲斌. FAHP 中三类判断矩阵的一致性问题 and 排序方法研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2006.

[17] 罗均平, 于伟, 李冬岩, 等. 语言判断矩阵在确定多属性决策问题权重中的应用[J]. 电光与控制, 2006, 13(1): 102-105.

[18] 岳超源. 决策理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[19] 陈卉. 城镇垃圾处理产业化投融资模式多属性决策研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.