



基于层次分析法的航道规划方案优选研究

葛新兴

(长江武汉航道工程局, 湖北 武汉 430014)

摘要: 航道是航运发展的基本条件, 航道规划方案评价涉及的指标非常多, 属于多指标综合评价。通过对层次方法、指标体系、权重、评价标准进行分析, 选用层次分析法和模糊综合评价法相结合的评价方法, 构建了模糊综合评价模型。该模型具有定量性和离散性, 使决策和评价过程变得简便易行, 能够为航道规划提供一种合理的优选方案。

关键词: 层次分析法; 模糊评价; 航道规划

中图分类号: U 612.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)03-0144-04

Optimization of waterway planning scheme based on analytic hierarchy process

GE Xin-xing

(Changjiang Wuhan Waterway Engineering Bureau, Wuhan 430014, China)

Abstract: This paper analyses the bearing force characteristics of cylindrical caisson, compares the internal force and deformation of three types of cylindrical caissons based on a project example, and calculates the steel bars and the width of the crack, the results of which indicate that the internal force and deformation of cylindrical caissons without partition are the maximum, but in this project three types of cylindrical caissons all satisfy the requirements. It is recommended that in the design of cylindrical caissons, we shall take cylindrical caisson without partition into account firstly, and consider other types with partitions when it can't satisfy the requirements.

Key words: analytic hierarchy process; fuzzy evaluation; waterway planning

航运发展中, 航道发展是至关重要的, 是航道、港口、船舶三大航运条件中最为重要的一个环节。从哲学角度分析, 航道规划问题和船舶通航环境安全的论证问题将牵扯出众多相互关联和相互制约的因素, 以及各种模糊的信息, 这将作为一个复杂的系统影响到整个系统的随机不确定性, 这也就是通常所说的模糊。在航道环境条件有限的情况下, 为了提供一种优异的设计方案, 实现最优选择, 就需要将航道自身的通航作用最大限度地发挥出来, 使其更利于船舶通行。

针对港口通航, 许多中外学者从船舶工程和海上交通的角度, 进行了众多研究。然而, 利用数学模型做同一工程中的不同航道规划方案,

尤其是立体层次立体目标系统的模糊优选方法, 还不被行内人士所广泛研究, 有非常大的发展空间。本文就针对这一方面进行深入讨论。

1 航道规划方案评价体系构建模式

想要合理地确定航道规划方案, 做出正确的评价与决策, 需要对各种航道方案进行定量排序和离散排序, 而要得到这种排序结果, 则需要比较航道规划方案的优属性、比较航道的相对优劣, 而获得这种优属性, 就需要应用立体化的多层次目标系统的模糊优选方法。

航道规划具有其规划的特殊性, 突出表现在设计指标数量多; 而这些所需指标中, 既有定

收稿日期: 2012-08-29

作者简介: 葛新兴(1964—), 男, 高级工程师, 从事航道规划和设计。

量指标，又有定性指标，系统十分复杂。此外，对于定量指标，又有很强的模糊性和标层间层次性，为规划造成了很大的难度。因此，在规划中，需要将层次分析法和模糊评价综合法综合应用，对航道规划做出系统性的选择。

1.1 模糊综合评价模型

一般而言，将通过等级模糊子集的构造量化航道规划中的模糊指标，得到各指标隶属性后通过模糊变换综合分析指标的方法，称为模糊综合评价。该评价方法由以下步骤组成：

1)定义评价因素集，对第 k 个子系统设有 m 个评价指标，那么这个因素集可用 $u_k=\{u_{k1},u_{k2},\dots,u_{km}\}$ 来表示；

2)确定评语集，假设某个子目标的等级有 p 个，则其评语等级可以用 $v_k=\{v_{k1},v_{k2},\dots,v_{kp}\}$ 来表示；

3)建立一个模糊关系矩阵，评语集构造完成以后，对于被评价事物的所有指标，都要量化其隶属程度，也就是通过建立模糊关系矩阵 R 来表示每一评价指标在评语集中的隶属度：

$$R = (r_{ij})_{m \times p} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mp} \end{pmatrix} \quad (1)$$

4)通过层次分析，明确每一个评价指标的权重；

5)得到权重后，将其与模糊关系矩阵 R 进行复合运算。

1.2 层次分析

在数据的层次分析中，第1步要构造个体评价的特征矩阵，第2步评级各个指标的权重，检验其

指标的一致性、层次总排序。在这其中，分析判断层次排序和检验数据一致性是非常复杂的，需要大量的数据计算加以辅助。层次结构如图1所示。

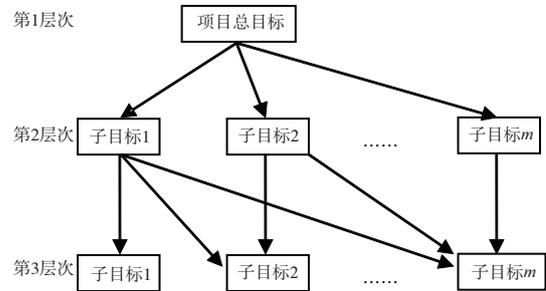


图1 递阶层次结构

1)构造个体评判的指标特征矩阵。

设有 n 个处理方案，评判指标 u_{ij} 对应第 i 个处理方案对第 j 个评价指标的取值，对第 j 个评价指标，个体评判指标的属性值可表示为向量 $(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})$ 。

2)评价指标权重判断计算。

指标权重判断计算对权重值的影响很大。关于两两比较的标度方法有很多种，但有些标度方法过于绝对，反而不能很好地区分指标或因素的差异。本研究采取的1~9标度方法，比较符合人们进行判断时的心理习惯。当人们比较两个因素对某一对象的相对重要强度时，通常采用如相等、较强、明显强、绝对强等此类语言。如果再分得细一些，可以在相邻两级中再插入一级，这正好是9级^[2]。采用1~9之间的整数表示这两个对象或多个对象的相对级别，从级别层次上说，9个级别是既方便又实用（表1）。

表1 1~9标度方法

标度	含 义	b_{ij} 赋值
1	i, j 两元素同等重要，两个指标同样重要	1
3	i 元素比 j 元素稍重要，根据经验或判断，认为 i 比 j 稍微重要	3
5	i 元素比 j 元素明显重要，根据经验或判断，认为 i 比 j 重要	5
7	i 元素比 j 元素强烈重要， i 比 j 重要，但不特别突出	7
9	i 元素比 j 元素极端重要，强烈的感到 i 比 j 重要得多	9
2, 4, 6, 8	表示第 i 个因素相对于第 j 个因素的影响介于上述两个相邻等级之间	2, 4, 6, 8
倒数	元素 i 与 j 比较得判断 b_{ij} ，则元素 j 与 i 比较的判断 $b_{ji}=1/b_{ij}$ 。	$b_{ji}=1/b_{ij}$

3) 层次单排序及一致性检验。

确定各目标层次中因素或指标对相邻上一层

次的各因素或指标的重要程度称为层次单排序。

“和法”求最大特征根和对应特征向量（近似

解)，将矩阵 $A = (b_{ij})_{n \times n}$ 的每一列向量的归一化，

$$\tilde{w}_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}}; \text{对 } \tilde{w}_{ij} \text{ 按行求和, } \tilde{w}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_{ij}; \text{将 } \tilde{w}_i \text{ 归}$$

一化, $\tilde{w}_i = W_i / \sum_{i=1}^n \tilde{w}_i$; 则 $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$ 为所求

的特征向量; 与特征向量 $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$ 对应的最大特征根 λ_{\max} 的近似值为 $\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i}$;

“根法”求最大特征根特征向量近似值。

对归一化后的列向量按行“求和”改为按行“求积”再取 n 次方根, 即: $\tilde{w}_i = \left(\prod_{j=1}^n \tilde{w}_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}$ 。即有

具体步骤: 将矩阵 $A = (b_{ij})_{n \times n}$ 的每一列向量归一化

$$\tilde{w}_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}}; \text{对归一化以后的列向量各元素按}$$

行“求积”并开 n 次方根 $\tilde{w}_i = \left(\prod_{j=1}^n \tilde{w}_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}$; 再将 \tilde{w}_i 归

$$\text{一化 } W_i = \frac{\tilde{w}_i}{\sum_{i=1}^n \tilde{w}_i} = \frac{\left(\prod_{j=1}^n \tilde{w}_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n \tilde{w}_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}}, \text{得到特征向量近似}$$

值: $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$; 最后计算最大特征根,

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{W_i^{(k+1)}}{W_i^{(k)}}。$$

在对评价指标计算出层次单排序结果之后, 按照层次分析法步骤, 对计算所依据的判断矩阵进行一致性检验。在层次分析法中, 引入判断矩阵 A 的最大特征根 λ_{\max} 与 n 之差和 $n-1$ 的比作为度量判断矩阵偏离一致性的指标, 用 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 来检查专家判断思维的一致性。一般来说, 比较判断的一致性的难度是随着判断矩阵的增加而增大的^[3]。

2 航道规划方案优选指标、权重与评价

2.1 优选评价指标

我国对于建立健全航道优选指标体系有着相对明确的规定: 首先, 保障指标应该符合国家对于港口工程建设所提出的基本要求和指导性文件, 如《港口与航道规范汇编》; 其次, 对于某个特定的港口工程, 保障指标还应该达到其建设目标, 实现其功能性要求; 当然, 参照相关航道

工程建设也是必须的。只有这样确定的评价体系才是具有实际操作价值和应用价值的。

在实际操作中, 对众多目标都进行分析是不切乎实际的, 应该选择具有代表性的, 能够最大程度反映出航道工程优劣性的若干个指标进行分析。这样得到的结果, 既在结果上具有可参考性, 又在计算时注重了计算效率, 避免了无用的验证性试验, 大大加快了选择进度。本文中推荐使用的指标单元有: 航道尺度、自然条件、航道弯曲情况、碍航物状况、船舶乘潮问题。

在设计通航期内, 航道能保证设计船型安全航行的最小尺度就是航道尺度, 它包含了5个评价指标, 分别是航道标准水深、航道标准宽度、航道最小弯曲半径、航道断面系数和通航净空。上述5个指标都是定量化的, 有着确切的数值和明确的来源, 准确度较高。

每一条航道再规划时, 设计人员都不得不考虑该航道所处地域的自然条件, 如该水域的气象条件、地理状况等, 这些都与航道能否顺利通行密切相关。

从航道的弯曲情况可以看出, 同直线航道相比, 弯曲航道的危险要高一些。在航道的转弯处, 受风力和水流的影响, 可操作水域十分有限, 还有操船者的视角受到阻挡等, 船舶的转向操作起来比较困难, 因此航道的弯曲情况显得很重要, 也是在评选最优航道规划方案时必须参考的一个指标。

在航道选线时, 有一个基本原则就是航道应避开碍航物, 这也是航道安全通行的前提, 优选航道规划方案时, 主要关注的是航道和碍航物之间的距离。

乘潮水位, 就是在航道规划过程中, 当吃水较深的船舶遇到局部浅段时, 需要借助高潮水位, 以保障其能在浅水段安全通行。乘潮状况指标可以具体设为乘潮水位和浅段水域长度。

2.2 优选评价指标权重

在综合评价中, 每个指标对于最后结果的影响比重是有差别的, 不能等同对待。所以, 为了确保结果的可参考性, 需要对指标进行权重设

计，充分考虑不同指标的作用强弱。权重分析在航道规划方案综合评价中主要采用的是层次分析法(AHP)，配合专家打分法进行具体操作。在综合

评价航道规划方案时，依据层次结构模型，可以将评价指标划分为目标层、准则层和指标层3个层次（表2）。

表2 航道规划方案评价指标及权重

目标层	准则层	权重	指标层	权重
航道规划方案优选评价	X ₁ 航道尺度	0.277 2	Y ₁ 航道设计宽度	0.241 2
			Y ₂ 设计水深	0.311 3
			Y ₃ 航道水深	0.297 1
			Y ₄ 制动距离	0.150 4
	X ₂ 航道弯曲状况	0.221 2	Y ₅ 转向点数	0.257 7
			Y ₆ 转弯半径	0.229 3
			Y ₇ 转向角度	0.236 4
			Y ₈ 转向间距	0.276 6
	X ₃ 自然条件	0.193 4	Y ₉ 常风向与轴线的夹角	0.267 0
			Y ₁₀ 强风向与航道轴线的夹角	0.216 4
			Y ₁₁ 涨潮流向与航道轴线的夹角	0.313 4
			Y ₁₂ 落潮流向与航道轴线的夹角	0.203 2
	X ₄ 碍航状况	0.100 1	Y ₁₃ 孤立危险物距航道的距离	0.357 1
			Y ₁₄ 防波堤距航道的距离	0.402 8
			Y ₁₅ 码头泊位距航道的距离	0.240 1
	X ₅ 船舶乘潮	0.208 1	Y ₁₆ 乘潮水位	0.627 6
			Y ₁₇ 浅段水域长度	0.372 4

2.3 航道规划方案评价标准

根据模糊数学最大隶属度原则，可从评价向量评定隶属等级。在航道尺度、航道的弯曲状况、自然条件、碍航物状况及船舶乘潮问题5个准则层指标评价完成后，按5分制对评价结果进行打分，进一步对航道规划方案进行评价^[5]。将指标值与总体评价等级标准进行比较，确定航道规划方案等级(表3)，多种方案进行综合对比，确定优选方案。

表3 航道规划方案综合评价标准

标准	理想	良好	一般	较差
数值	3~5	2~3	1~2	0~1

3 结语

本文通过对现有航道规划设计方案的分析引出多层次多角度的层次分析法，将数学运算与航道分析相结合，利用具有代表性的有限个指标的分析 and 权重设计对整体的航道规划进行评价、排序和选用。这种方法的优点是既客观又有代表性，操作还简便和快捷。这是一种严谨和效率兼顾的新型评价方法，值得进行进一步的巩固和研

究，具有很高的参考价值。

由于其具有客观、严谨的数学基础，多层次多目标航道规划方案模糊优选理论被证实在航道工程领域发展前景很好。当然本研究也具有一定的局限性，仅仅考虑了通航安全这一步的完善模糊优选方法，还需要广大科学工作者的进一步努力，在其他方面对其进行完善和发展。

参考文献：

- [1] 陈守煌.多目标系统模糊关系优选决策理论与应用[J].水利学报,1994(8):33-35.
- [2] Bell man R E, Zadeh L A .Decision making in a fuzzy environment[J].Management Science,1970,17(B):79-82.
- [3] 张维英,林焰,纪卓尚.多目标多层次船型方案模糊优选法[J].中国造船,2004(9):121-124.
- [4] 刘德新,吴兆麟,贾传荧.多层次多目标重点避让船模糊优选 [J].交通运输工程学报,2005(3):68-71.
- [5] 白宇明,戴冉,朱金善,等.大型船舶航行下沉量计算方法的比较[G]//航海技术与航海教育论集.大连:大连海事大学出版社,2006:36-38.

(本文编辑 武亚庆)