

doi: 10.7690/bgzd.2014.10.014

# 基于层次分析法和模糊综合评价的渡河方式评估

徐新林, 付成群

(解放军理工大学野战工程学院, 南京 210007)

**摘要:** 为避免传统单一算法在渡场评估中存在偏差问题, 提出一种采用层次分析法和模糊综合评价相结合的渡河方式评估方法, 通过分析算法、构建指标体系、确定评估模型和实例分析等步骤, 实现了基于层次分析法和模糊综合评价的渡河方式评估。从实例分析看, 体系合理, 模型科学, 结果符合客观实际, 从而确保了渡场辅助决策的科学性。

**关键词:** 层次分析法; 模糊综合评价; 渡河方式; 评估模型

**中图分类号:** TJ06 **文献标志码:** A

## Crossing River Model Evaluation Based on Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

Xu Xinlin, Fu Chengqun

(College of Field Engineering, PLA University of Science &amp; Technology, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** To avoid defects in evaluating crossing river when using the traditional and single calculation, a crossing river model evaluation based on the combination of the analytic hierarchy process and the fuzzy comprehensive evaluation method is introduced in this paper. By introducing the methods fundamental, building a hierarchical index system about crossing river model, designing evaluation process and creating evaluation model, a crossing river model evaluation based on the combination of the analytic hierarchy process and the fuzzy comprehensive evaluation method is realized. From the practical application segment, the system is reasonable, the model is scientific and the results are reliable. Therefore, the crossing river auxiliary decision is proved to be correct.

**Keywords:** analytic hierarchy process; fuzzy comprehensive evaluation; crossing river way; evaluation model

### 0 引言

渡场辅助决策过程中, 在经过设计和计算之后, 生成了包括门桥横断面图、纵断面图, 浮桥平面图、纵断面图、结构物结构图、装备及人员数量统计等设计成果, 此时, 辅助决策方案还不完善, 缺少对渡河方式的评估。渡河方式评估是指在指定渡河地区若门桥渡河和浮桥渡河均可以的情况下, 究竟选择何种渡河方式更加科学合理, 费效比更高。鉴于此, 笔者在研究层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 和模糊综合评价 (fuzzy comprehensive evaluation, FCE)<sup>[1]</sup>基础上, 根据 2 种算法各自特点, 提出了一种将两者结合的渡河方式评估方案, 辅助作业人员更加科学的对渡河方式做出优选。

### 1 算法基本理论

AHP 是 20 世纪 70 年代提出的一种多准则决策方法<sup>[2-3]</sup>。它把一个复杂问题表示为有序的递阶层次结构, 通过人们的判断对决策方案的好坏进行排序。AHP 适合于具有复杂层次结构的多目标决策问题。

但 AHP 存在着如何构造、检验和修正判断矩阵的一致性问题以及如何计算判断矩阵要素的权重的问题。FCE<sup>[4-5]</sup>作为定量分析和定性分析综合集成的一种常用方法, 能较好解决 AHP 存在的不足。为此, 笔者采用 AHP 与 FCE 相结合的方法对渡河方式进行评价, 从而避免了人的主观判断、偏好等对渡河方式评价的影响。

#### 1.1 层次分析法 (AHP)

##### 1.1.1 确定多层次评价模型与比较判断矩阵

对于一个复杂的问题, 影响问题的因素很多, 通常可以将不同的要素按类型进行划分, 这样就将一个复杂问题划分成一个层次清晰的体系。此时, 上层与下层之间要素的隶属关系就被确定了。问题越复杂, 影响因素就越多, 划分的层次可能就越多, 多层次模型中各层次上的要素可以依次相对于与之相关的上一层要素, 进行两两比较, 从而建立比较判断矩阵。AHP 就是根据这个思想建立评价模型和比较判断矩阵的。比较判断矩阵形式如表 1。

收稿日期: 2014-04-06; 修回日期: 2014-05-15

作者简介: 徐新林(1983—), 男, 安徽人, 硕士, 讲师, 从事指挥自动化研究。

表1 比较判断矩阵

$A-B_i$	$B_1$	$B_2$	...	$B_n$
$B_1$	$b_{11}$	$b_{12}$	...	$b_{1n}$
$B_2$	$b_{21}$	$b_{22}$	...	$b_{2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$
$B_n$	$b_{n1}$	$b_{n2}$	...	$b_{nn}$

表1的比较判断矩阵中,  $b_{ij}$ 代表相对于与其相关的上一层要素  $A$ , 斜对角线上的元素值为1, 即  $b_{ii}=1$ ; 所有元素值均大于0, 即  $b_{ij}>0$ ; 依斜对角线对称元素值互为倒数, 即  $b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}}$

其中,  $b_i$ 较  $b_j$ 的重要性比例标度, 通常采用1~9标度法进行要素的两两比较。

### 1.1.2 相对权重的计算及一致性检验

很多学者提出了要素相对权重的计算方法, 但各有利弊。笔者采用较为常用的特征根法计算。设  $\lambda_{\max}$ 为比较判断矩阵的最大特征根,  $H$ 称为比较判断矩阵的对应于特征值  $\lambda_{\max}$ 的特征向量, 则  $\lambda_{\max}$ 与  $H$ 按下列步骤进行:

- 1) 将矩阵中的元素按行相乘;
- 2) 将第一步获得的乘积分别开  $n$ 次方;
- 3) 根向量归一化处理得排序权重向量  $H$ ;
- 4) 求解  $\lambda_{\max}$ , 如下式所示:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(A-B_i H) i}{n H_i}, i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

AHP并不要求在开始阶段, 即构造比较判断矩阵时其具有一致性, 但有时会出现  $X>Y, Y>Z, Z>X$ , 这种违反常规的情况, 因此在求解  $\lambda_{\max}$ 后应进行比较判断矩阵的一致性检验。

- ① 一致性指标  $C_1$  计算:

$$C_1 = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

- ② 一致性比例  $C_R$  计算:

$$C_R = \frac{C_1}{I_R} \quad (3)$$

随机一致性指标  $I_R$ 的取值如表2所示。

表2 判断矩阵的随机一致性指标

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_R$	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.44	1.45

一致性比例值大于0.1时, 认为比较判断矩阵具有良好的一致性, 否则应调整比较判断矩阵元素的取值使其符合一致性要求。

### 1.1.3 计算各层元素的组合权重

采取自上而下逐层进行的方法, 计算最低层次所有要素对于总目标的相对权重, 计算时需要把第2步的计算结果进行适当的组合, 并进行总的一致性检验。

## 1.2 模糊综合评价(FCE)

### 1.2.1 建立因素集与评价集

影响一个评判对象的因素有很多, 这些因素组成的集合称为因素集, 通常表示为  $K=\{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ , 同样一个人对一个问题有自己的看法, 不同的人对同一个问题有不同的看法, 这些不同的看法组成的集合称为评价集, 通常表示为  $F=\{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ 。

### 1.2.2 建立模糊评价矩阵

根据评判对象, 对每个因素进行评价, 从而计算出评价对象对  $K$ 中各元素的隶属程度, 然后将  $n$ 个因素和每个元素的  $m$ 个评价组成一个总的  $n \times m$ 评价矩阵  $L$ 。

### 1.2.3 确定权重向量

因素集中每个元素的重要性是不同的, 为了区别他们的不同, 通常采取的办法是赋权, 通过不同的元素赋予不同的权值, 从而达到反映各元素不同重要性的目的。具体是对各个因素  $k_j$ 赋权  $w_j$ , 权数所构成的向量称为因素权重向量, 即  $W_i = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ 。

### 1.2.4 模糊综合评价数学模型

当  $W$ 和  $L$ 为已知时, 便可做模糊变换来进行综合评价, 模糊综合评判的数学模型为  $D=WL$ 。对  $D$ 进行归一化处理得  $D'$ , 将  $D'$ 与模糊评判向量  $F$ 相乘即得出综合评价结果分值为  $S=D'F^T$  (其中模糊评价向量  $F$ 是按评语等级求得的中位数)。

## 2 渡河方式评估指标体系的构建

根据门浮桥渡口的特点, 选择渡河方式通常要考虑5个方面的因素, 分别是通航能力、构筑速度、适应性、生存能力和经济性。

1) 构筑速度。构筑速度是指门浮桥渡口开设时间, 包括构筑渡口速度和开设下河坡道速度。

2) 通航能力。通航能力是指门浮桥渡口的保障能力, 包括荷载吨位和单位时间内通行量。

3) 适应性。适应性指门浮桥适应环境的能力,

包括对水深、水流速度适应和河底土壤条件的影响。

4) 经济性。经济性是指开设门浮桥渡口所耗费的资源最少，包括动用的器材和兵力的使用。

5) 生存能力。生存能力是指门浮桥保持工作性能的能力，包括器材抗风浪性能及维修可靠性。

由此建立的渡河方式评估指标体系如图 1。

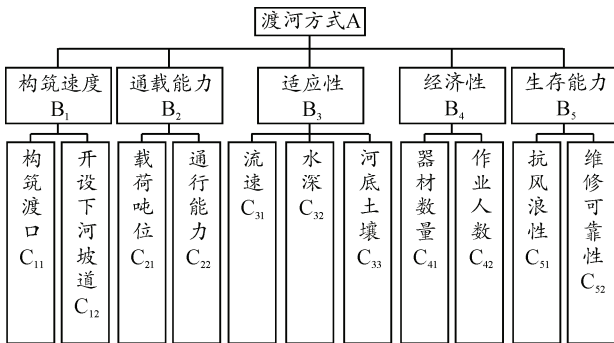


图 1 渡河方式评估指标体系

### 3 基于 AHP-FCE 的渡河方式评估模型

下面使用 AHP-FCE 算法对渡河方式进行评估，其评估流程如图 2 所示。

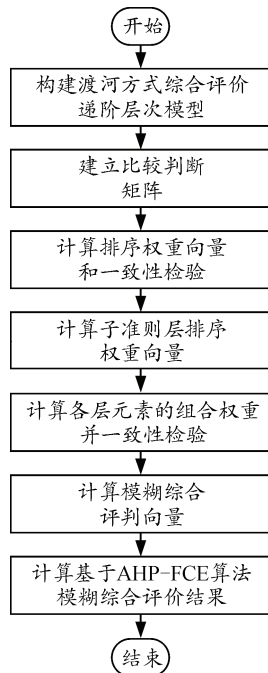


图 2 渡河方式评估流程

基于 AHP-FCE 的渡河方式评价一般步骤为：

1) 构建渡河方式综合评价递阶层次模型。影响渡河方式选择的第一准则层有构筑速度  $B_1$ ，通航能力  $B_2$ ，适应性  $B_3$ ，经济性  $B_4$  和生存能力  $B_5$ ；第二准则层有构筑渡口  $C_{11}$ ，开设下河坡道  $C_{12}$ ，荷载吨位  $C_{21}$ ，通行能力  $C_{22}$ ，流速  $C_{31}$ ，水深  $C_{32}$ ，河底土壤情况  $C_{33}$ ，器材数量  $C_{41}$ ，作业人数  $C_{42}$ ，抗风浪

性  $C_{51}$  和维修可靠性  $C_{52}$ 。递阶层次结构和隶属关系如图 1 所示。

2) 建立比较判断矩阵。根据所建的递阶层次模型建立  $B$  层各元素相对于  $A$  层总目标的比较判断矩阵  $A-B_i$ ，矩阵大小为  $5 \times 5$ ，如表 1 所示。

3) 计算排序权重向量和一致性检验。采用特征根方法，计算最大特征根  $\lambda_{max}$  和与之相对应的特征向量  $H_B = [h_{B_1}, h_{B_2}, h_{B_3}, h_{B_4}, h_{B_5}]$ 。进行比较判断矩阵一致性检验，根据公式计算得出  $C_R$ ，如果  $C_R < 0.1$  则认为判断矩阵具有良好的一致性，如果  $C_R \geq 0.1$ ，则需调整判断矩阵元素的取值直到  $C_R < 0.1$ 。

4) 计算子准则层排序权重向量。按照第 3 步同样方法计算  $C$  层次各元素相对于  $B$  层次与其相关的元素的权重  $w_{C_j}$ 。

5) 计算组合权重并进行整个递阶层次模型的一致性检验。

6) 计算模糊综合评判向量。根据影响渡河方式的 11 个因素建立  $K$ ，对  $K$  的各元素的评价有 4 种结果，即 100、80、60、40，组成  $F$ 。采取专家打分的方法对渡河方式进行评价得到  $L$ 。最后根据公式得到模糊综合评价向量。

7) 计算基于 AHP-FCE 算法渡河方式综合评价结果。根据公式计算评价结果  $S$  的值。

根据评价结果， $S$  值越大的渡河方式为更加合理的渡河方式。

### 4 渡河方式评估实例运用

某单位负责人接上级通知，在  $\times \times$  河流开设渡河场，以保障装备和人员通过，要求指挥员根据任务特点和河流状况合理选择渡河方式。此时，指挥员需要对该河段上分别实施门桥渡河和浮桥渡河进行评估，从评价结果中选择合理的渡河方式。

下面以在该河段上开设浮桥渡口为例说明该算法运用。通过比较判断得到该河段影响浮桥渡河的 5 个影响元素的两两比较判断矩阵如表 3 所示。

表 3 判断矩阵

$A-B_i$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$
$B_1$	1	2	5	3	8
$B_2$	1/2	1	3	2	5
$B_3$	1/5	1/3	1	1/3	2
$B_4$	1/3	1/2	3	1	3
$B_5$	1/8	1/5	1/2	1/3	1

计算得最大特征值  $\lambda_{max} = 5.089$ ，相应最大特征值的特征向量  $H_B = [0.449, 0.258, 0.080, 0.163, 0.050]$ ，同

时计算得到  $C_1 = 0.0223$ 。

根据表得知  $I_1 = 1.12$ ，计算得到  $C_R = 0.02 < 0.10$ ，表明比较判断矩阵符合一致性要求。

同样方法计算出 C 层各元素相对于 B 层与其相关的元素的权重。相对于构筑速度权重向量  $W_{CB1} = [0.436, 0.564]$ ；相对于通载能力权重向量  $W_{CB2} = [0.684, 0.316]$ ；相对于适应性权重向量  $W_{CB3} = [0.504, 0.193, 0.303]$ ；相对于经济性权重向量  $W_{CB4} = [0.492, 0.508]$ ；相对于生存能力权重向量  $W_{CB5} = [0.402, 0.598]$ 。

计算 11 个评价指标的组合权重为：

$W_c = [0.1958, 0.2532, 0.1765, 0.0815, 0.0403, 0.0154, 0.0242, 0.0802, 0.0828, 0.0201, 0.0299]$

根据专家对渡河方式的评价如表 4。

表 4 专家打分统计

指标	100 分	80 分	60 分	40 分
构筑渡口	0.034	0.317	0.136	0.513
开设下河坡道	0.412	0.057	0.531	0.000
荷载吨位	0.270	0.363	0.308	0.059
通行能力	0.113	0.432	0.107	0.348
流速	0.562	0.047	0.318	0.073
水深	0.300	0.062	0.247	0.391
河底情况	0.091	0.206	0.481	0.222
器材数量	0.240	0.325	0.402	0.033
作业人数	0.084	0.178	0.497	0.241
抗风浪性	0.203	0.196	0.284	0.317
维修可靠性	0.291	0.407	0.263	0.039

计算得到：

\*\*\*\*\*

(上接第 51 页)

对其中单元 1、2 进行供弹交接测试，单元 1 上弹夹装弹 12 发，单元 2 上弹夹装弹 5 发。测试曲线如图 11 所示。可以看出，单元 1、2 供弹过程交接顺利，供弹交接试验顺利。

#### 4 结束语

笔者对某无链供弹装置的交接运动过程进行了仿真研究，获得了加速度、位移以及接触力等重要参数，并进行了供弹试验测试。试验结果表明：改进后，供弹运动交接效果较理想，可以实现多发炮弹与闭合弹链交接，提高了无链供弹装置供弹过程的可行性，将其应用于实际的生产和设计中具有一定的意义。

#### 参考文献：

[1] 马福球, 陈运生, 朵英贤. 火炮与自动武器[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2003: 186.

$$D=[0.2363, 0.2405, 0.3394, 0.1837]$$

归一化处理：

$$D'=[0.2363, 0.2405, 0.3395, 0.1837]$$

计算出门桥渡河的评价结果为  $S_{浮}=70.58$ 。

同样方法，假设在该河段实施浮桥渡河，指挥员根据评估模型对浮桥渡河进行评价，得到浮桥渡河的评价结果为  $S_{浮}=64.37$ 。按照评价结果得分高的方案更优，指挥员决定在该河段上实施门桥渡河。

#### 5 结束语

实践结果证明：以上评价结果符合实际情况，从而验证了基于 AHP-FCE 的渡河方式评估的合理性和可靠性。

#### 参考文献：

[1] 张震, 于天彪, 梁宝珠, 等. 基于层次分析法与模糊综合评价的供应商评价研究[J]. 东北大学学报, 2006, 27(10): 1142-1145.  
 [2] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1998: 120-127.  
 [3] Tam C Y, Tummala V M. An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system[J]. International Journal of Management Science, 2001, 29(2): 171-182.  
 [4] 苗启广, 刘娟, 宁淑婷. 基于模糊综合评判的机场打击效果评估[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(7): 1395-1399.  
 [5] 金菊良, 魏一鸣, 丁晶. 基于改进层次分析法的模糊综合评价模型[J]. 水利学报, 2004(3): 65-70.  
 [2] 韩魁英, 王梦林, 朱素君. 火炮自动机设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988: 292.  
 [3] 曹广群, 张艳华, 刘树华. 基于 ADAMS 的多管火箭炮动力学仿真分析[J]. 兵工自动化, 2009, 28(2): 32-35.  
 [4] 郑建荣. ADAMS 虚拟样机技术入门与提高[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001: 37.  
 [5] 陈立平. 机械系统动力学分析及 ADAMS 应用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 10.  
 [6] 申培刚. 高速无链供弹运动交接动态特性分析[D]. 南京理工大学硕士论文, 2013.  
 [7] 申培刚, 戴劲松, 王茂森. 基于 ADAMS 的推弹滑座与阻铁在不同倾角下的碰撞动力学分析[J]. 机械制造与自动化, 2013, 42(4): 136-138.  
 [8] 王华坤, 范元勋. 机械设计基础[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2001: 80.  
 [9] 杨海川, 张建峰. 一种新式的闭合弹带机构[J]. 兵工自动化, 2011, 30(9): 16-17.  
 [10] 朱万彬, 钟俊, 莫仁. 激光位移传感器在角度测量中的应用[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(6): 131-133.