

文章编号: 1001-1455(2008)03-0225-04

# 基于 RAGA 的模糊层次分析方法 在爆破方案优选中的应用\*

汪明武, 吴大国, 张薇薇

(合肥工业大学土木建筑工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:** 探讨了应用实码加速遗传算法, 直接检验和修正模糊优先关系矩阵的爆破方案模糊层次分析改进优选方法。实例应用表明, 该法可合理确定指标权重, 能提高评价结果的精度和优度值的离散度。

**关键词:** 爆炸力学; 模糊层次分析法; 实码加速遗传算法; 爆破; 优化

**中图分类号:** TD235; O159

**国标学科代码:** 130 · 3599

**文献标志码:** A

## 1 引言

目前, 随着城市化进程的加速, 爆破工程越来越多, 爆破规模和成本也越来越大, 爆破方案的决策难度也日益复杂和困难。在满足技术要求的前提下, 以往对爆破方案的决策多是依靠专家的经验 and 知识, 主观性太强, 很难获得最佳的经济爆破方案, 已很难满足当今日益复杂化的爆破工程决策要求。为了避免传统定性和主观分析方法的不足, 引入层次分析法来量化定性评价指标, 综合分析方案和决策<sup>[1-4]</sup>, 然而评价结果的精度和离散度并不是很好。另外, 以往层次分析方法的权重确定过程中一般不考虑判断矩阵的一致性条件, 一旦确定判断矩阵就无法改善权重和一致性指标, 而这样处理将影响评价结果和方法的实际应用。本文中应用实码加速遗传算法(RAGA), 探讨复杂爆破方案的模糊层次分析方法(FAHP)改进优选模型, 以解决上面难题, 实现既可充分利用专家经验, 修正判断矩阵的一致性, 又可同时合理确定指标权重, 提高评价结果的精度和离散度。

## 2 爆破方案 RAGA-FAHP 优选模型

### 2.1 基本原理及步骤

RAGA-FAHP 优选原理是在一致性指标系数最小化条件下, 推求待选方案的整体优度值来优选最佳方案, 且同时考虑模糊优先关系矩阵的修正和计算指标权值, 以确保优选结果的可靠性。基于 RAGA-FAHP 的爆破方案优选方法具体步骤为: (1) 首先由具体爆破工程合理确定待选方案和评价指标; (2) 据专家对各评价指标和待选方案的评语, 两两比较评价指标重要性和单指标下待选方案的优越性, 以构造指标模糊优先关系矩阵  $C = (c_{ij})_{n \times n}$  和方案模糊优先关系矩阵  $A^k = (a_{ij}^k)_{n \times n}$ ; (3) 建立模糊关系优先矩阵修改模型, 满足最小化条件下应用实数编码加速遗传优化获得判断矩阵  $D$ 、 $B^k$ , 以及合理确定指标权重  $w_k$  和待选方案的优度值  $S_i^k$ ; (4) 基于求得的指标权重和方案优度值计算待选方案的整体优度值  $T_i$ , 并检验一致性, 若不满足则重复进行步骤(3)~(4), 直至符合条件; (5) 对满足一致性要求的  $T_i$  值进行目标总排序, 并按最大最优原则优选方案。

### 2.2 优化计算模型

若某个实际爆破工程拟定有  $n$  个待选方案, 方案评价指标确定有  $m$  个, 则据专家给出的评价指标

\* 收稿日期: 2006-12-14; 修回日期: 2007-03-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(50579009); 安徽省自然科学基金项目(01045102);

安徽省优秀青年科技基金项目(08040106830)

作者简介: 汪明武(1972—), 男, 博士, 教授。

评语,两两比较即可构造评价指标的模糊优先关系矩阵  $\mathbf{C}$ ,其中:当  $c_{ij}=1$  时,表示指标  $i$  比指标  $j$  重要;当  $c_{ij}=0.5$  时,表示指标  $i$  与指标  $j$  同等重要;当  $c_{ij}=0$  时,表示指标  $i$  不比指标  $j$  重要。单个评价指标下的方案模糊优先关系矩阵  $\mathbf{A}^k$  也可用类似方法构造,即:若方案  $i$  优于方案  $j$ ,取  $a_{ij}^k=1$ ;方案  $i$  与方案  $j$  等优,则取  $a_{ij}^k=0.5$ ;当  $i$  方案劣于  $j$  方案,则  $a_{ij}^k=0$ 。

如何修正模糊优先关系矩阵是确保评价结果具有高精度和离散的关键。以往层次分析方法修正判断矩阵时多凭经验和技巧,不能保证是最优的或只对判断矩阵的个别元素进行修正,确定权值不考虑一致性条件。现采用一致性指标系数来确保模糊优先关系矩阵  $\mathbf{C}$  和  $\mathbf{A}^k$  的修正和指标权重确定的合理性<sup>[4]</sup>,计算模型构建如下

$$\min \text{CIC}(m) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{|d_{ij} - c_{ij}|}{n^2} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{|0.5(n-1)(\omega_k(i) - \omega_k(j)) + 0.5 - d_{ij}|}{n^2} \quad (1)$$

$$\begin{cases} d_{ii} = 0.5 & i = 1, 2, \dots, m \\ 1 - d_{ji} = d_{ij} \in [c_{ij} - d, c_{ij} + d] \cap [0, 1] & i = 1, 2, \dots, m-1; j = i+1; d \in [0, 0.5] \\ \sum_{i=1}^m \omega_k(i) = 1 & \omega_k(i) > 0 \end{cases}$$

$$\min \text{CIC}(k, n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{|b_{ij}^k - a_{ij}^k|}{n^2} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{|0.5(n-1)(s_i^k - s_j^k) + 0.5 - b_{ij}^k|}{n^2} \quad (2)$$

$$\begin{cases} b_{ii}^k = 0.5 & i = 1, 2, \dots, n \\ 1 - b_{ji}^k = b_{ij}^k \in [a_{ij}^k - d, a_{ij}^k + d] \cap [0, 1] & i = 1, 2, \dots, n-1; j = i+1; d \in [0, 0.5] \\ \sum_{i=1}^n s_i^k = 1 & s_i^k > 0 \end{cases}$$

式中: $\text{CIC}(m)$ 为评价指标的一致性指标系数, $d_{ij}$ 为模糊优先关系矩阵  $\mathbf{C}$  的修正判断矩阵  $\mathbf{D}$  的元素值; $\text{CIC}(k, n)$ 为单指标方案的一致性指标系数, $b_{ij}^k$ 为  $\mathbf{A}^k$  的修正判断矩阵  $\mathbf{B}^k$  的元素值, $s_i^k$ 为  $\mathbf{B}^k$  的优度值。

满足一致性指标最小化条件下的评价指标权重  $\omega_k$  和单指标下方案优度值  $s_i^k$  的求解是一个极为复杂的非线性优化问题,一般方法难以获得最佳解。现引入基于实数编码的加速遗传算法来求解,是由于实码加速遗传算法是一种模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的自适应全局优化的通用方法<sup>[5-6]</sup>。通常认为当  $\text{CIC}(m), \text{CIC}(k, n) \leq 0.2$  时,模糊优先矩阵  $\mathbf{C}, \mathbf{A}^k$  具有满意的一致性,计算获得的指标权重  $\omega_k$  和方案优度值也就是合理的。

### 2.3 方案优选

由优化计算获得单评价指标下各方案的优度值  $s_i^k$  和各评价指标的权重  $\omega_k$  即可求得各方案的整体优度值和相应的总排序一致性指标系数

$$T_i = \sum_{k=1}^m \omega_k s_i^k \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\text{CIC}(n) = \sum_{k=1}^m \omega_k \text{CIC}(k, n) \quad (4)$$

当  $\text{CIC}(n) \leq 0.2$  时,则认为相应所求整体优度值为可接受的,再由最大最优原则,即可得到决策的最佳方案。

## 3 实例

采用文献[1]实例的数据对所建评价模型进行验证,并与一般层次分析方法评价结果对比分析。实例为某楼房拆除爆破工程,在满足爆破技术要求的前提下,结合工程具体情况,待选方案共有四种:定向倾倒方案1、内向折叠坍塌方案2、原地坍塌方案3和双向坍塌方案4,各方案详细资料见文献[1]。爆破方案评价指标采用防护成本、钻孔成本、爆破成本、清渣成本等四个,则评价指标、单个指标下待选方案的模糊优先关系矩阵可分别构建如下

$$C = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0.5 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0.5 \end{pmatrix}$$

$$A^1 = \begin{pmatrix} 0.5 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0.5 & 1 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 & 1 & 0.5 \end{pmatrix}, A^2 = \begin{pmatrix} 0.5 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0.5 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 \end{pmatrix}, A^3 = \begin{pmatrix} 0.5 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0.5 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 \end{pmatrix}, A^4 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0.5 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 \end{pmatrix}$$

然后应用 RAGA 方法求解公式(1)~(2),即可获得指标权重和优度值。实例中参数取  $d=0.2$ ,加速循环次数参数为 25,计算求得满足一致性条件下的评价指标一致性指标系数  $CIC(4)=0.1353$ ,评价指标权重  $w_k=(0.0413, 0.3588, 0.4551, 0.1448)$ ;各指标下的方案一致性指标系数  $CIC(4,4)=(0.0985, 0.1370, 0.1351, 0.1367)$ ,可见具有满意的一致性,待选方案在单指标下的优度值  $s_i^k$  见表 1。再按公式(3)就可求得方案的整体优度值  $T_i$ (见表 1),由公式(4)检验总排序一致性,实例的总排序一致性指标系数  $CIC(4)=0.1346$ ,满足一致性,故所求结果是可信的。基于 RAGA 优化最终获得的评价指标模糊优先关系矩阵的修正判断矩阵、单指标下方案模糊优先关系矩阵的修正判断矩阵分别如下

$$D = \begin{pmatrix} 0.5000 & 0.0237 & 0.0122 & 0.0993 \\ 0.9763 & 0.5000 & 0.0948 & 0.9088 \\ 0.9878 & 0.9052 & 0.5000 & 0.9654 \\ 0.9007 & 0.0912 & 0.0346 & 0.5000 \end{pmatrix}$$

$$B^1 = \begin{pmatrix} 0.5000 & 0.9554 & 0.9861 & 0.9534 \\ 0.0446 & 0.5000 & 0.9156 & 0.5000 \\ 0.0139 & 0.0844 & 0.5000 & 0.0890 \\ 0.0466 & 0.5000 & 0.9110 & 0.5000 \end{pmatrix}, B^2 = \begin{pmatrix} 0.5000 & 0.9545 & 0.9110 & 0.9829 \\ 0.0455 & 0.5000 & 0.1120 & 0.8786 \\ 0.0890 & 0.8880 & 0.5000 & 0.9834 \\ 0.0171 & 0.1214 & 0.0166 & 0.5000 \end{pmatrix},$$

$$B^3 = \begin{pmatrix} 0.5000 & 0.9135 & 0.9758 & 0.9914 \\ 0.0865 & 0.5000 & 0.9661 & 0.9609 \\ 0.0242 & 0.0339 & 0.5000 & 0.8901 \\ 0.0086 & 0.0391 & 0.1091 & 0.5000 \end{pmatrix}, B^4 = \begin{pmatrix} 0.5000 & 0.0362 & 0.1185 & 0.9155 \\ 0.9638 & 0.5000 & 0.8851 & 0.9796 \\ 0.8815 & 0.1149 & 0.5000 & 0.9837 \\ 0.0845 & 0.0204 & 0.0163 & 0.5000 \end{pmatrix}$$

与文献[1]中一致性转化方法的修正结果对比表明,基于 RAGA-FAHP 模型的修正模糊优先关系矩阵的修正幅度较小,尽可能利用了原模糊优先关系矩阵的信息,提高了指标权重和方案优度值的可信度。

从表 1 结果可知,方案的整体优度值  $T_1 > T_2 > T_3 > T_4$ ,按优选模型原则即可得出定向倾倒方案 1 为最佳方案,与文献[1]的优选结果一致。由表 1 优度值的对比也表明,本文模型求得的优度值离散程度明显高于文献[1]的一致性转换法结果,这对于工程决策是有利的。

表 1 优度值及对比

Table 1 Optimum values of the basting plans and comparison

方案	$s_i^1$		$s_i^2$		$s_i^3$		$s_i^4$		$T_i$	
	本文	文献[1]	本文	文献[1]	本文	文献[1]	本文	文献[1]	本文	文献[1]
1	0.5214	0.3518	0.4405	0.3527	0.4576	0.3527	0.1397	0.2169	0.4081	0.3231
2	0.2252	0.2512	0.1375	0.2169	0.3547	0.2854	0.4489	0.3527	0.2850	0.2755
3	0.0281	0.1458	0.3721	0.2854	0.1404	0.2169	0.3669	0.2854	0.2517	0.2410
4	0.2252	0.2512	0.0499	0.1450	0.0474	0.1450	0.0444	0.1450	0.0551	0.1604

### 4 结 语

基于专家评语构建的模糊优先关系矩阵,探讨了应用实码加速遗传算法,直接检验和修正模糊优先关系矩阵的爆破方案 RAGA-FAHP 优选新方法,该法不仅充分利用了专家所给的信息,且改进和提高了评价结果的精度、离散度和趋向均化的缺陷,便于实际决策应用,为复杂爆破工程决策提供新的手段。

## 参考文献:

- [1] 张世雄, 陈庆发, 许名标. 模糊层次分析法在爆破方案优化选择中的应用[J]. 爆破, 2004, 21(4): 83-85.  
ZHANG Shi-xiong, CHEN Qing-fa, XU Min-biao. Application of fuzzy hierarchy analysis method in optimization of blasting program[J]. *Blasting*, 2004, 21(4): 83-85.
- [2] 蒲传金, 肖正学, 郭学彬, 等. 模糊层次分析法在爆破方案优选中的应用[J]. 矿业研究与开发, 2004, 24(6): 73-75.  
PU Chuan-jin, XIAO Zheng-xue, GUO Xue-bin, et al. The application of fuzzy-analytical hierarchy process in the optimization of blasting schemes[J]. *Mining Research and Development*, 2004, 24(6): 73-75.
- [3] 王常红, 朱传云, 舒大强, 等. 层次分析法在爆破方案优化中的应用研究[J]. 爆破, 2000, 17(2): 5-10.  
WANG Chang-hong, ZHU Chuan-yun, SHU Da-qiang, et al. Application of analytic hierarchy process in optimization of blasting program[J]. *Blasting*, 2000, 17(2): 5-10.
- [4] 金菊良, 杨晓华, 魏一鸣. 基于模糊优先关系矩阵的系统评价方法[J]. 系统工程理论方法应用, 2005, 14(4): 364-368.  
JIN Ju-liang, YANG Xiao-hua, WEI Yi-ming. System evaluation method based on fuzzy preferential relation matrix [J]. *Systems Engineering: Theory Methodology Applications*, 2005, 14(4): 364-368.
- [5] 金菊良, 丁晶. 遗传算法及其在水科学中的应用[M]. 成都: 四川大学出版社, 2000.
- [6] 汪明武, 金菊良, 李丽. 基于实码加速遗传算法的投影寻踪方法在砂土液化势评价中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(4): 631-634.  
WANG Ming-wu, JIN Ju-liang, LI Li. Application of PP method based on RAGA to assessment of sand liquefaction potential[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, 23(4): 631-634.

## Application of RAGA-based fuzzy analytic hierarchy process to optimization of blasting plans

WANG Ming-wu<sup>\*</sup>, WU Da-guo, ZHANG Wei-wei

*(School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China)*

**Abstract:** An improved evaluation method is discussed, which can be used to optimize the blasting plans by using the fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) with the real coding-based accelerating genetic algorithm (RAGA). Fuzzy preferential relation matrixes are established with the blasting plans and the evaluation indexes. The values of the weights and the optimum values meeting the minimizing condition of consistency index coefficient (CIC) are calculated by means of RAGA, and the best blasting plan is selected according to the general optimum value of each plan. The practical example shows that the proposed method can be used to gain the rational weights, and its accuracy, dispersion, and operability are better than those of the traditional FAHP.

**Key words:** mechanics of explosion; fuzzy preferential relation matrix; real coding-based accelerating genetic algorithm; blasting; optimization

---

\* Corresponding author: WANG Ming-wu  
E-mail address: geotechnics@163.com  
Telephone: 86-551-2901434