

doi: 10.7690/bgzdh.2014.07.010

# 基于灰色模糊综合评判的爆破安全评估

康玮<sup>1</sup>, 王怀晓<sup>2</sup>, 陆建新<sup>1</sup>

(1. 解放军国际关系学院国际维和教研室, 南京 210039; 2. 解放军理工大学野战工程学院, 南京 210007)

**摘要:** 针对爆破技术面临的安全问题, 提出一种采用灰色关联分析和模糊综合评判集成的爆破安全评估方法。按照层次分析法, 结合对影响爆破安全因素的分析, 建立工程爆破安全评估指标体系, 利用模糊综合评判与灰色综合评估方法集成建立的方案排序模型, 对方案评估和排序过程中的模糊性和人脑综合判断的灰色综合分析性质进行评估, 并通过实例进行分析。实验结果表明: 灰色模糊综合评判方法能够集成灰色关联分析和模糊综合评判的优点, 使评估更加的客观, 有效。

**关键词:** 层次分析; 灰色关联分析; 模糊综合; 爆破; 安全评估

**中图分类号:** TJ510.6 **文献标志码:** A

## Blasting Safety Evaluation Based on Gray Correlative Analysis and Comprehensive Evaluation Model

Kang Wei<sup>1</sup>, Wang Huaixiao<sup>2</sup>, Lu Jianxin<sup>1</sup>

(1. Staff Room of International Peacekeeping, PLA University of International Relations, Nanjing 210039, China;  
2. College of Field Engineering, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** A blasting safety evaluation method is proposed based on gray correlative analysis and comprehensive evaluation model for the security problems of blasting technology. The index system of security of blasting is established based on analytic hierarchy process (AHP) and the analysis of security factors of blasting. The sorting model is established based on fuzzy comprehensive evaluation and gray evaluation method. The fuzziness of scheme evaluating and sorting process and gray comprehensive judgment of comprehensive analysis of brain is evaluated. And the example of this method has been put out. The experimental results show that: gray fuzzy comprehensive evaluation method integrated the advantages of gray correlation analysis and fuzzy comprehensive evaluation evaluates the blasting safety problem objectively and effectively.

**Keywords:** AHP; gray correlative analysis; fuzzy comprehensive evaluation; blasting; safety evaluation

### 0 引言

随着经济、社会的快速发展, 爆破技术在工程中的应用越来越多, 同时爆破工程的条件越来越复杂<sup>[1]</sup>。爆破技术能够快速、高效地进行拆除、开采、开挖和破坏等行动。但随之而来的爆破安全问题成为爆破面临的一个主要问题。为了使工程爆破安全进行, 需要在爆破行动之前进行有效的安全评估工作<sup>[2]</sup>。王振宇、梁旭等运用基于输入能量的评价方法对爆破震动安全进行了评价研究<sup>[3]</sup>; 王祥秋、周岳峰等对爆破冲击载荷下隧道振动特性与安全性评价进行了研究<sup>[4]</sup>; 王京娅、孙有朝等运用基于蒙特卡罗的非包容转子对爆破安全性进行了评估<sup>[5]</sup>。在此基础上, 笔者采用灰色关联分析和模糊综合评判集成的方法对爆破安全进行评估。

### 1 指标体系建立

与爆破安全相关的因素有很多, 各因素之间也

存在一定的相互关系<sup>[6]</sup>。对于不同目标的爆破, 影响爆破的因素主要有: 安全管理、施工水平、技术水平、爆破环境、爆破目标的性质等。这些因素共同决定了工程爆破的安全性。笔者主要是针对同一目标爆破进行方案评估的情况, 不考虑爆破的环境和爆破的目标性质。爆破安全指标包括: 安全管理、施工水平和技术水平。按照层次分析法, 结合对影响爆破安全因素的分析, 建立的工程爆破安全评估指标体系如图 1<sup>[7]</sup>所示。

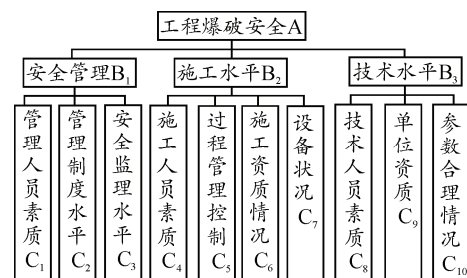


图 1 工程爆破安全评估指标体系

收稿日期: 2014-02-19; 修回日期: 2014-03-13

作者简介: 康玮(1984—), 女, 江苏人, 学士, 助理工程师, 从事军事情报、运筹学研究。

## 2 模糊综合评判与灰色综合评价集成

灰色模糊综合评判是在已知信息不充分的前提下, 评判具有模糊因素的事物或现象的一种方法<sup>[8]</sup>。利用模糊综合评判与灰色综合评估方法集成建立的方案排序模型, 可以对方案评估和排序过程中的模糊性和人脑综合判断的灰色综合分析性质进行比较好的处理, 使方案的评估更加科学、客观。

### 2.1 灰色模糊评价模型

在爆破安全评价中, 参与评价的方案组成的集合为  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ; 因素指标集为  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ 。对于某一特定爆破方案  $a_j$ , 可以表示成一个向量  $a_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{mj})$ ,  $y_{ij} \in y_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ 。在指标  $y_i$  上建立一个单目标模糊决策函数<sup>[9]</sup>。

$$f_i : y_i \rightarrow [0, 1], i = 1, 2, \dots, m$$

对于给定的方案集  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , 函数值  $f_i(a_j) \triangleq f_i(y_{ij}) \in [0, 1]$  表示就因素  $y_i$  而言, 方案  $a_j$  属于优越的程度。令  $\eta_j(i) \triangleq f_i(y_{ij}) \triangleq f_i(a_j)$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ )。

从而, 可得一个模糊关系矩阵

$$R = \begin{bmatrix} \eta_1(1) & \eta_2(1) & \dots & \eta_n(1) \\ \eta_1(2) & \eta_2(2) & \dots & \eta_n(2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \eta_1(m) & \eta_2(m) & \dots & \eta_n(m) \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (1)$$

式中  $R$  为综合评价矩阵,  $R$  的第  $i$  行向量  $R_i = [\eta_1(i), \eta_2(i), \dots, \eta_n(i)]$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 的分量  $\eta_j(i)$  为第  $j$  个方案  $a_j$  的第  $i$  个因素指标  $y_{ij}$  与第  $i$  个最优指标  $y_i^*$  的关联度。

由于  $Y$  中各因素对爆破安全的影响程度不同, 因此, 用矩阵  $P = (P_1, P_2, \dots, P_m)$  来表示权重分配,  $\sum_{i=1}^m P_i = 1$ 。则爆破安全评价的数学模型<sup>[10]</sup>为:

$$B = P \cdot R \quad (2)$$

### 2.2 基于灰色关联的隶属度求解

$\eta_j(i)$  的求解是通过计算灰色关联系数来求解的。其算法步骤为:

1) 确定最优指标集  $y^*$ ,  $y^* = (y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*)$  式中,  $y_i^*$  为第  $i$  个指标的最优值。由此, 可构造初始矩阵

$$E = \begin{bmatrix} y_1^* & y_2^* & \dots & y_m^* \\ y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中  $y_{ji}$  为指标  $j$  的第  $i$  个因素  $y_i$  的指标值。

2) 指标的无量纲处理。

若各个指标具有不同的量纲, 需要对原始数据进行无量纲化处理。

$$C_{ji} = \frac{y_{ji} - y_i^{\min}}{y_i^{\max} - y_i^{\min}} \quad (4)$$

式中  $y_i^{\max}$ 、 $y_i^{\min}$  分别为第  $i$  个因素指标最大和最小值。

3) 灰色关联系数计算。

以  $C^* = (C_1^*, C_2^*, \dots, C_m^*)$  作为参考列, 以各方案的指标值  $C_j = (C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jm})$   $j = 1, 2, \dots, n$  为比较数列, 则关联系数  $\eta_j(i)$  为

$$\eta_j(i) = \frac{\min_j \min_i |C_i^* - C_{ji}| + \rho \max_j \max_i |C_i^* - C_{ji}|}{|C_i^* - C_{ji}| + \rho \max_j \max_i |C_i^* - C_{ji}|} \quad (5)$$

式中  $\rho \in [0, 1]$  称为分辨系数, 一般取  $\rho = 0.5$ 。采用此方式得到的关联系数就是隶属度。

### 2.3 基于层次分析法的权重分配计算

由层次分析法:  $P_i = P_j \cdot U_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, m$ ) 得权向量  $P = (P_1, P_2, \dots, P_m)$ 。将因素集  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$  中的第  $k$  个元素与其他元素比较, 其重要度以  $1 \sim 9$  标度, 即可写出第  $k$  行元素的比率判断标度值  $U_{k1}, U_{k2}, \dots, U_{km}$ , 这就意味着上式中的  $i = k$ , 即  $P_k = P_j \cdot U_{kj}$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ), 所以  $P_j = \frac{P_k}{U_{kj}}$ ,  $P_1 + P_2 + \dots + P_m =$

$P_k \cdot \sum_{j=1}^m \frac{1}{U_{kj}} = 1$ , 于是:

$$P_k = \left( \sum_{j=1}^m \frac{1}{U_{kj}} \right)^{-1} \quad (6)$$

## 3 实例分析

基于灰色关联度的模糊层次评价模型对爆破安全评估进行实例分析。这种方法的实质就是在建立了爆破安全指标体系的基础上, 采用灰色关联度求解模型的隶属度, 按 AHP 法求解影响因素之间的权重分配, 达到对爆破安全评估的目的。

根据图 1 中建立的指标体系,选取 10 个指标因素作为评价因素。每个指标因素按其水平分为 5 种级别:优、良、中、及、差,对应的指标值分别为 1、0.8、0.6、0.4、0.2。现有 3 次爆破,其指标基础数据见表 1 所示。

表 1 爆破基础数据

实验	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>
爆破 1	0.4	0.8	1	0.6	0.4	0.4	0.8	0.8	0.6	0.4
爆破 2	0.6	0.6	0.6	0.4	0.8	0.6	0.6	0.6	0.4	0.8
爆破 3	0.4	0.8	0.8	1.0	0.6	0.4	0.8	0.8	0.2	0.6

显然,模型中  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_{10}\}$ ,  $A = \{a_1, a_2, a_3\}$ 。据此可根据前述的原理和方法对 3 个爆破方案进行分析。

### 3.1 权重 P 的确定

根据专家以过程管理控制 ( $y_5$ ) 为基准,给出了其他因素对  $y_5$  的重要性比较标度值如表 2 所示。

表 2 因素间的重要性比较标度值

管理控制/其他因素	$\frac{y_1}{y_5}$	$\frac{y_2}{y_5}$	$\frac{y_3}{y_5}$	$\frac{y_4}{y_5}$	$\frac{y_6}{y_5}$	$\frac{y_7}{y_5}$	$\frac{y_8}{y_5}$	$\frac{y_9}{y_5}$	$\frac{y_{10}}{y_5}$
$U_{ik}$	1	2	4	3	1	5	5	2	4

这里给出了比率判断矩阵中第 5 列的标度值:  
 $U_5 = \{U_{15}, U_{25}, U_{35}, U_{45}, U_{65}, U_{75}, U_{85}, U_{95}, U_{105}\}$ , 可得  $y_5$

的权重值:  $P_5 = \left( \sum_{j=1}^{10} U_{j5} \right)^{-1} = \frac{1}{30}$ , 可得

$$P = \left( \frac{1}{30}, \frac{2}{30}, \frac{4}{30}, \frac{3}{30}, \frac{1}{30}, \frac{5}{30}, \frac{5}{30}, \frac{2}{30}, \frac{4}{30}, \frac{3}{30} \right)$$

### 3.2 基于关联系数的反计算

各因素的值均为越大越好, 因此  $y^* = \{0.6, 0.8, 1, 1, 0.8, 0.6, 0.8, 0.8, 0.6, 0.8\}$ ,

初始矩阵

$$E = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.8 & 1 & 1 & 0.8 & 0.6 & 0.8 & 0.8 & 0.6 & 0.8 \\ 0.4 & 0.8 & 1 & 0.6 & 0.4 & 0.4 & 0.8 & 0.8 & 0.6 & 0.4 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.4 & 0.8 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.4 & 0.8 \\ 0.4 & 0.8 & 0.8 & 1 & 0.6 & 0.4 & 0.8 & 0.8 & 0.2 & 0.6 \end{bmatrix}$$

由于矩阵 E 的量纲相同, 因此不需进行无量纲化。

$$\Delta C = \begin{bmatrix} 0.2 & 0 & 0 & 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0.4 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0 & 0.2 & 0 & 0.2 & 0.2 & 0 & 0 & 0.4 & 0.2 \end{bmatrix}$$

进一步得:

$$\eta_j(i) = \frac{0 + 0.5 \times 0.6}{|C_i^* - C_{ji}| + 0.5 \times 0.6} = \frac{0.3}{0.3 + |C_i^* - C_{ji}|}$$

$$\underline{R} = (R_1, R_2, R_3)$$

$$\underline{R}^T =$$

$$\begin{bmatrix} 0.6 & 1 & 1 & 0.43 & 0.43 & 0.6 & 1 & 1 & 1 & 0.43 \\ 1 & 0.6 & 0.43 & 0.33 & 1 & 1 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 1 \\ 0.6 & 1 & 0.6 & 1 & 0.6 & 0.6 & 1 & 1 & 0.43 & 0.6 \end{bmatrix}$$

### 3.3 模糊评价

$$\underline{B} = \underline{P} \times \underline{R} = (0.7870, 0.6836, 0.7373)$$

即  $b_1 > b_3 > b_2$ , 也就是说方案 1 安全性最好, 方案 3 安全性最差。

## 4 结语

笔者用灰色系统理论和方法分析处理现有模糊综合评判方法存在的问题, 摆脱了单纯模糊综合评判的主观性。该方法计算简单, 定量化程度高, 改变了模糊综合评判结果因人而异的情况。应用灰色关联度的模糊评价模型进行爆破安全评价是切实可行的。这种方法对样本数据的分布形式和数据的多少没有限制, 并从事物发展的动态趋势上找关联, 较回归分析、相关分析法等有明显的优越性, 对其他领域也有一定的参考价值。

### 参考文献:

- [1] 何丽华, 杨溢, 庙延钢, 等. 浅析爆破工程安全评价[J]. 云南冶金, 2007, 36(2): 17-21.
- [2] 陶铁军, 蔡建德, 张光权, 等. 未确知测度模型在爆破工程安全评价中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(12): 108-111.
- [3] 王振宇, 梁旭, 陈银鲁, 等. 基于输入能量的爆破震动安全评价方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 12(29): 2492-2499.
- [4] 王祥秋, 周岳峰, 周治国. 爆破冲击荷载下隧道振动特性与安全性评价研究[J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(11): 134-138.
- [5] 王京娅, 孙有朝, 陆中, 等. 基于蒙特卡罗的非包容转子爆破安全性评估[J]. 航空标准化与质量, 2012(2): 37-41.
- [6] 齐世福, 龙源. 军事爆破工程设计与应用[M]. 南京: 解放军理工大学工程兵工程学院, 2002: 46-49.
- [7] 周强, 庙延钢, 张智宇, 等. 基于 AHP 的爆破安全评价指标体系及权重赋值研究[J]. 云南冶金, 2008, 37(2): 16-20.
- [8] 杜栋, 庞庆华, 吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011: 35-37.
- [9] 胡子俊, 方达宪. 水下岩塞爆破大坝安全评估研究[J]. 工程与建设, 2008, 22(4): 453-455.
- [10] 李新建. 基于模糊数学的拆除爆破施工安全评价方法[J]. 工业安全与环保, 2010, 36(3): 24-25.