

基于模糊决策的立井堵水注浆方案选择及其应用

陈兰云^{1,2}, 杜 宁¹, 贺永年², 张卫民¹, 吴育萍¹

(1. 金华职业技术学院, 金华 321017;
2. 中国矿业大学建筑工程学院, 徐州 221008)

[摘 要]影响注浆工程质量的因素存在一定模糊性, 如何选择正确的注浆方案, 对提高工程质量有重要作用。基于此, 本文采用模糊数学的方法对影响竖井堵水注浆工程的诸多因素建立模型, 并通过分析和研究对竖井堵水方案进行优选。通过实践表明, 运用模糊数学方法选择注浆方案, 对注浆工程的设计与施工具有一定指导意义。

[关键词]注浆工程 竖井堵水 模糊数学 因素

[中图分类号]P641.47 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2009)01-0099-05

0 引言

自 1802 年法国工程师用木制冲击泵注入粘土和石灰浆液加固地层开始, 注浆技术逐步在矿山建设、水电工程、建筑工程、公路工程、道路与桥梁工程中广泛应用。由于注浆技术总体上处于发展的初级阶段, 注浆理论研究还不成熟, 注浆设计、施工水平都比较低。目前注浆工程的设计方案大都采用经验法和工程类比法, 这在很大程度上取决于设计、施工人员的经验和水平, 往往使得技术经济效果较差, 甚至失败。长期以来, 矿山竖井井筒井壁涌水后均需注浆堵水处理, 但随着开采深度的增加, 堵水成功率越来越低, 严重影响矿山的生产和安全。基于影响注浆工程的诸多因素的判断和选择是模糊的, 通过运用模糊数学方法, 对某竖井堵水注浆方案进行优选, 并将其应用于实践, 取得了一些经验。

1 模型建立

在注浆工程系统中, 影响注浆工程系统整体效果的因素很多, 有些是可控制的, 有些是无法控制的, 对于可以改变控制的因素进行模糊决策优化选择。注浆堵水整治系统有多种影响因素:

1) 建立因素集

$$U = \{U_1, U_2, U_3\}$$

U —注浆方案评判的各种因素组成的集合;
 U_1 —注浆工程技术效果;

U_2 —注浆工程经济效果;
 U_3 —注浆工程环境安全效果。
其中 $U_i (i=1, 2, 3)$ 又有 n 个因素

$U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, u_{i3}, \dots, u_{in}\} (i=1, 2, 3)$, 根据不同的注浆工程, 分别选择对 U_1, U_2, U_3 影响较大的因素, 进行模糊优化:

$U_1 = \{\text{注浆材料、注浆方法、注浆设备} \dots \text{注浆顺序}\};$
 $U_2 = \{\text{注浆材料、注浆方法、注浆设备} \dots \text{注浆工期}\};$
 $U_3 = \{\text{安全措施、注浆方法、注浆设备} \dots \text{注浆深度}\}。$

这些因素的选择均具有不同程度的模糊性。

2) 建立权重集

根据各因素对各因素类的影响程度, 赋予不同权重, 组成权数集, 又考虑各因素类对注浆工程整体效果的影响, 所以要建立两个权重集。根据注浆工程 3 类因素的重要程度, 赋予每个因素类以相应的权数。

① 因素类权重集:

$$A = \frac{a_1}{U_1} + \frac{a_2}{U_2} + \frac{a_3}{U_3} = (a_1, a_2, a_3)$$
$$a_i \geq 0 \quad \sum_{i=1}^3 a_i = 1$$

② 因素权重集, 根据每一因素类中各因素的重要程度, 赋予适当的权数。设第 i 类因素 U_i 的第 j

[收稿日期]2008-11-11; [修订日期]2009-01-10。
[第一作者简介]陈兰云(1964 年—), 男, 1990 年毕业于东北大学, 获硕士学位, 现主要从事岩土工程方面的教学与科研工作。

个因素 u_{ij} 的权数为 $a_{ij}(j=1,2,\cdots n)(i=1,2,3)$, 得出第 i 个因素类的权重集

$$A = \frac{a_{i1}}{U_{i1}} + \frac{a_{i2}}{U_{i2}} + \frac{a_{i3}}{U_{i3}} \cdots + \frac{a_{in}}{U_{in}} = (a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, \cdots a_{in})$$
$$a_{ij} \geq 0 \quad \sum_{j=1}^n a_{ij} = 1, i = 1, 2, 3$$

(1)

在综合评判中,权重是十分重要的问题,只有权重分配合理,才能正确进行评判。因此,对注浆系统工程的因素类和因素类中的因素要结合起来,以经验资料 and 具体工程特点对其重要性认真分析,合理确定权重。

3) 建立备择集(评价集)
不论因素分为多少类,被择集只有一个,对数个注浆方案进行评判,择优而取之,由于评判结果具有模糊性,因此建立备择集为:

$V = \{V_1, V_2, \cdots, V_5\} = \{\text{优, 良, 中, 较差, 差}\}$
4) 一级模糊综合评判:所谓的一级模糊综合评判,就是按每一因素类中的各个因素进行综合评判,假定按第 i 类 U_i 中的第 j 个因素 U_{ij} 评判,评判对象属于备择集中第 k 个元素 V_k 的隶属度 $r_{ijk}, i=1, 2, 3, j=1, 2, \cdots n, k=1, 2, 3, 4, 5$, 可以得到了 3 个一级评判矩阵 $R_i, i=1, 2, 3$

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \cdots & r_{i15} \\ r_{i21} & r_{i22} & \cdots & r_{i25} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{in1} & r_{in2} & \cdots & r_{in5} \end{bmatrix}$$

(2)

这样对第 i 类因素进行模糊综合评判,就可以得到评判集 B_i :

$B_i = A_i \cdot R_i = (b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, b_{i4}, b_{i5})$
结合实际工程以及注浆施工的特点:

$$b_{ik} = \sum_{j=1}^{n_i} a_{ij} \cdot r_{ijk} (k=1, 2, 3, 4, 5)$$

5) 二级模糊综合评判
一级评判仅是对每个因素类中的各因素进行综合,还需要考虑各因素类对整体注浆效果的评价,即

对各因素类之间进行模糊综合评判,再进行一次评判以协调 3 个因素类,对注浆工程整体效果进行评判,此时的单因素评判矩阵应为一级评判的结果, B_i 构成的矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & R_1 \\ A_2 & R_2 \\ A_3 & R_3 \end{bmatrix}$$

于是,考虑因素类之间的权重 A , 得二级模糊评判指标 D :

$$D = A \cdot R = \begin{bmatrix} A_1 & R_1 \\ A_2 & R_2 \\ A_3 & R_3 \end{bmatrix} = (d_1, d_2, d_3, \cdots, d_5)$$
$$d_k = \sum_{i=1}^3 a_i b_{ik}$$

d_k 表示评判对象按所有因素评判时,对备择集中的第 k 个元素的隶属度。

6) 评判指标的处理
得到评判指标 $d_k(k=1, 2, \cdots 5)$ 之后,便可以根据最大隶属度法确定评判对象的结果,方法如下:
取与最大的评判指标 $\max d_k$ 相对应的备择元素 V_L 为评判结果,即

$$V = \{V_L/V_L \rightarrow \max d_k\}$$

2 工程实例

某矿副井全深 618.85m, 直径 6.5m, 在 360 ~ 480m 处涌水量 30m³/小时, 采用水泥-水玻璃双液浆进行多次注浆, 效果不佳, 并且由于深度逐渐增加, 注浆压力也随着增加, 使得井壁多处破坏, 影响生产。该次注浆堵水处理的目标是总涌水量控制在 6m³/小时以下, 其中表土段涌水量控制在 0.5m³/小时以下。

- 1) 根据前面所述, 确定注浆工程的重要因素见图 1;
- 2) 建立备选方案, 见表 1;

表 1 注浆工程备选方案

方案编号	注浆材料	注浆深度	布孔方式	保护井壁	工期	注浆顺序
1	ZKD 高水材料	深	均布	控压	80	从上到下
2	ZKD 高水材料	浅	均布	控压卸压	50	见水打孔
3	ZKD 高水材料	深	均布	控压	60	从上到下
4	超细水泥	浅	均布	控压卸压	40	见水打孔
5	超细水泥	浅	均布	控压	50	从上到下
6	水泥+水玻璃+聚氨酯	深	均布	控压	75	见水打孔
7	水泥+水玻璃+聚氨酯	深	均布	控压	60	见水打孔

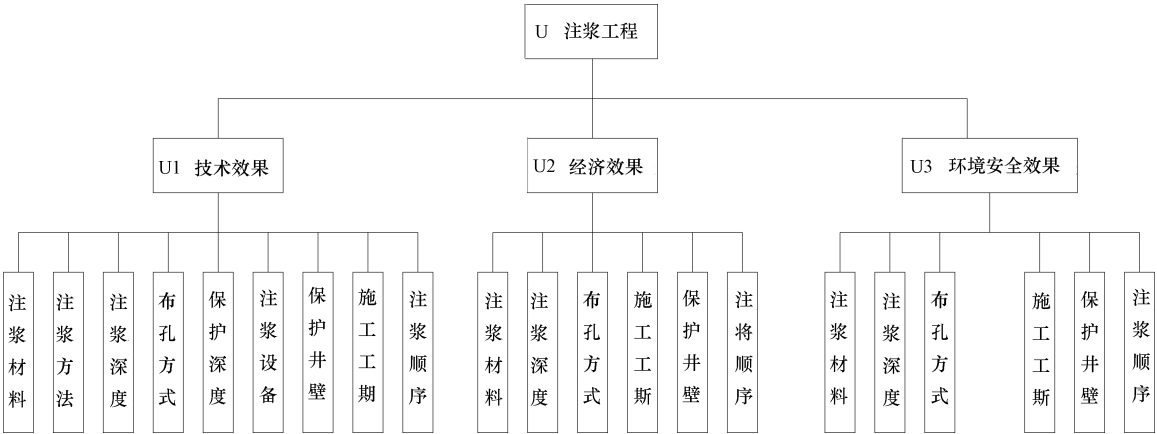


图 1 影响注浆工程的重要因素

表 2 注浆工程因素表

因素	1	2	3	4	5	6
U_1	注浆材料	注浆深度	布孔方式	工期	注浆顺序	保护井壁
U_2	注浆材料	注浆深度	布孔方式	工期	注浆顺序	保护井壁
U_3	注浆材料	注浆深度	布孔方式	工期	注浆顺序	保护井壁

表 3 $A-U_{1i}$ 评判矩阵的层次分析表

A	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}	U_{15}	U_{16}	W_i	权重
U_{11}	1	2	2	2	2	2	6.177	0.289
U_{12}	1/2	2	1	2	1	2	1.782	0.181
U_{13}	1/2	2	1	1/2	1	1	1.122	0.129
U_{14}	1/2	1/2	2	1	1	1	0.794	0.144
U_{15}	1/2	2	1	1/2	1	1	0.891	0.129
U_{16}	1/2	1/2	1	1	1	1	0.794	0.129

3) 建立模糊模型、进行综合评判

① 建立因素类集和因素集(表2)

因素类集 $U = \{U_1, U_2, U_3\} = \{\text{技术效果, 经济效益, 环境安全效果}\}$ 。

其中:因素集 $U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, u_{i3}, \cdots, u_{in}\}$ 。

② 建立权重集

首先对方案1进行评判:

因素权重集 $A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \cdots, a_{i6})$ ($i = 1, 2, 3, \cdots$)

建立 $A-U_{1i}$ 评判矩阵:运用层次分析法(表3)。

表 4 因素权重集						
因素集	注浆材料	注浆深度	布孔方式	工期	注浆顺序	保护井壁
$U1$	0.289	0.181	0.129	0.144	0.129	0.129
$U2$	0.289	0.129	0.1414	0.181	0.129	0.129
$U3$	0.129	0.289	0.181	0.129	0.129	0.144

同理,针对 $U2$ 、 $U3$ 可以得出权重集,如表4。

③ 因素类权重集:

根据3个因素类,对该工程用相对层次法确定权重:

$A = \{0.6571, 0.1964, 0.3465\}$

④ 建立备择集:

确定备择集

$V = \{V_1, V_2, \cdots, V_7\}$

$= \{\text{一等, 二等, } \cdots \text{ 七等}\}$

4) 一级模糊综合评判:

① 因素评判矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.9 & 1 & 0.6 & 0.5 & 0.35 & 0.1 \\ 1 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.9 & 0.8 & 0.7 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.6 & 0.8 & 1 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.2 \\ 1 & 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.4 & 0.25 & 0.1 \\ 0.2 & 0.8 & 0.6 & 0.75 & 0.8 & 0.9 & 1 \end{bmatrix}$$
$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.9 & 1 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.2 \\ 0.6 & 0.75 & 0.9 & 1 & 0.7 & 0.4 & 0.7 \\ 0.6 & 0.8 & 0.9 & 1 & 0.6 & 0.4 & 0.2 \\ 0.9 & 1 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.4 & 0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.9 & 1 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.1 & 0.6 \end{bmatrix}$$
$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.8 & 1 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 1 & 0.8 & 0.6 & 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 1 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.9 & 1 & 0.7 & 0.5 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.8 & 1 & 0.7 & 0.5 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.5 & 0.75 & 0.9 & 1 & 0.7 & 0.5 & 0.3 \end{bmatrix}$$

② 一级综合评判

$$B_i = A_i \cdot R_i$$

即:

$$B_1 = A_1 \cdot R_1$$
$$= (0.289, 0.181, 0.129, 0.144, 0.119, 0.129) \times R_1$$
$$= (0.7406, 0.8297, 0.7996, 0.5997, 0.4735,$$
$$0.3423, 0.2125)$$
$$B_2 = A_2 \cdot R_2$$
$$= (0.289, 0.129, 0.144, 0.181, 0.129, 0.129) \times R_2$$
$$= (0.6033, 0.7821, 0.8343, 0.7934, 0.6289,$$
$$0.5061, 0.3059).$$
$$B_3 = A_3 \cdot R_3$$
$$= (0.129, 0.289, 0.181, 0.129, 0.129, 0.144) \times R_3$$
$$= (0.8645, 0.871, 0.6954, 0.5673, 0.3785,$$
$$0.1964, 0.043)$$

5) 二级模糊评判:

$$B = A \cdot R = (0.6571, 0.1964, 0.1465) \times R$$
$$= (0.6571, 0.1964, 0.1465) \times$$
$$\begin{bmatrix} 0.7406 & 0.8297 & 0.7996 & 0.5993 \\ 0.6033 & 0.7821 & 0.8343 & 0.7934 \\ 0.8645 & 0.8110 & 0.6954 & 0.5673 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.4735 & 0.3423 & 0.2125 \\ 0.6289 & 0.5061 & 0.3059 \\ 0.3785 & 0.1964 & 0.0430 \end{bmatrix}$$
$$= (0.7318, 0.8176, 0.7911, 0.6327, 0.4901,$$
$$0.3531, 0.2060)$$

根据最大隶属度原则, $V = \{V_L/V_L \rightarrow \max d_k\}$
 $d_2 = 0.8176 \qquad V_k = V_2$

则对方案一的评判结果为二等。

同理,对其余 6 个方案进行评判,最终结果以方案一的评判结果最高,因此选择方案一为该次注浆堵水的初步方案,也就是采用 ZKD 高水材料、深封孔、均匀布孔、控压注浆方案。

3 结语

注浆工程是一个涉及多变量、多层次及变量之间相互影响的复杂系统,基于系统工程的一般原理,运用模糊决策选择注浆堵水方案,对于注浆工程的设计与施工具有一定的指导意义。该次注浆工程的实践表明,在注浆理论与注浆设计水平较低的情况下,选用模糊决策选择注浆方案是可行的,但还需注意以下几个问题:

- 1) 确定初选注浆方案后,还需对若干细部条件进行确定,如注浆压力控制、注浆深度、注浆材料本身若干参数的优化设计。
- 2) 由于实行施工的不可预见性问题,布孔方式没有完全按照设计进行,而采用见水打孔,使壁孔未能形成完整的注浆帷幕,未能截断壁后围岩上下水联系,造成井筒深部静水压力过大,影响整体堵水效果。
- 3) 注浆施工时要严格控制注浆压力预防井筒井壁破坏,同时也可以注浆孔周围安装卸压管,随时观察情况。

[参考文献]

[1] 赵焕臣,许树柏,和金生. 层次分析法[M]. 北京:科学出版社, 1986.

[2] 刘宏宇,顾小松. 双向层次分析—原理及应用[J]. 系统工程理论方法应用,1994,(3).

[3] 郭方胜,刘祖德. 长江一级阶地深基坑支护系统方案的优化设计[J]. 建筑结构,2000,11.

Selection of Methods of Grouting for Water Blocking-up Based on Fuzzy Decision and Its Application

CHEN Lan-yun^{1,2}, DU Ning¹, HE Yong-nian², ZHANG Wei-min¹, WU Yu-ping¹
(1. *Jinhua College of Profession and Technology, Jinhua 321017;*
2. *China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008*)

Abstract: At present design and construction of grouting are depended on experience and level of technical personnel, sometimes the technical economy result is worse, even fail. The factor that have an effect on grouting is uncertain, this passage adopt fuzzy maths that we can establish model about selecting and determining the factors that influence the grouting in upright-well, and we also analysis it. Through putting it into practice, the scheme of grouting is feasible which is select by fuzzy decision, when the theory and design level of grouting are lower.

Key words: grouting, blocking up water in upright-well, fuzzy maths, factor