

# 掏槽方式及掏槽参数的优化研究

东兆星 王树仁

(中国矿业大学建工学院 徐州 221008)

**摘要** 利用模糊综合评价理论和观场实测数据,对煤矿平巷掘进中常用的革种掏槽方式及参数进行优化评价,结果符合实际情况。

**关键词** 掏槽方式 爆破参数 模糊综合评价

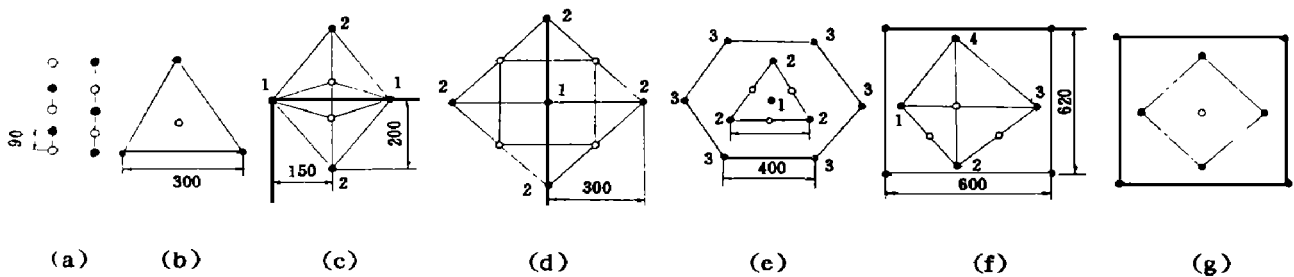
**中图法分类号** O 159

## 1 引言

掏槽爆破是井巷进施工的关键,决定着整个爆破质量、掘进效果乃至每个掘进循环的进度。而掏槽效果的好坏又主要取决于掏槽方式及其参数。因此,根据围岩地质情况和掘进面大小选择合理的掏槽方式及其参数,是很重要的。

掏槽方式可以分为斜眼掏槽和直眼掏槽,目前在井巷掘进中常用直眼掏槽法。本文选择的七种掏槽方式均为直眼掏槽。确定某一施工条件下的掏槽方式及合理的掏槽参数,要充分考虑到地质条件的适应性、施工技术的可行性、效果的可靠性和经济合理性等的因素。据此可利用模糊评价理论方法,作为优化选择掏槽方式及其参数的依据。由于均是采用现场实测数据,其评价结果符合实际情况。

井巷掘进中常用的掏槽方式见图 1



(a)直线掏槽; (b)三角形掏槽; (c)双空眼菱形掏槽;  
 (d)五星掏槽; (e)三角柱掏槽; (f)螺旋掏槽; (g)单空眼菱形掏槽;  
 (a) Line-cut (b) Triangle-cut (c) Diamond burn cut  
 (d) Square-cut (e) Compound cut (f) Spiral-cut (g) Diamond burn-cut

图 1 各种掏槽方式示意图

Fig. 1 Schematic of Breakhole patterns

\* 东兆星:男,1966年5月生,硕士,讲师。

1998-10-27收到原稿,1998-03-23收到修改稿。

## 2 掏槽方式及其参数的优化

### 2.1 评价掏槽方式的因素

评价掏槽方式的效果要考虑到许多因素,其中主要有以下五种<sup>[1]</sup>:单位体积掏槽眼数目、掏槽孔布置的合理性、单位体积炸药消耗量、掏槽眼利用率和掏槽眼钻眼工作量,分别用  $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$ 、 $u_4$  和  $u_5$  来表示。这些因素有下列关系

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\} \quad (1)$$

式中掏槽眼布置合理性  $u_2$  是自由面的宽度与抵抗线的比值,即:  $u_2 = \frac{\text{自由面的宽度}}{\text{抵抗线}}$

### 2.2 评价等级

评价掏槽方式的效果分为四个等级:很好、好、可以和坏,分别用  $v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$  和  $v_4$  表示。即

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\} \quad (2)$$

用隶属度  $\mu_A(u)$  表示即为

$\mu_A(u) \geq 0.9$  (很好);  $0.7 \leq \mu_A(u) < 0.9$  (好);  $0.5 \leq \mu_A(u) < 0.7$  (可以);  $\mu_A(u) < 0.5$  (坏)

### 2.3 单因素评价矩阵 $R_f$

做  $N$  次试验即可获得  $N$  组试验数据,这样便可由隶属函数  $\mu_A(u)$  来确定单因素评价矩阵  $r_{ij}$ 。例如,如果在 10 次试验中出现了 2 次试验使  $\mu_A(u) \geq 0.9$  那么  $r = 2/10 = 0.2$ 。假设第  $i$  个因素的评价集为  $R_i = \{r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, r_{i4}\}$ , 上述五个因素评价集构成的评价矩阵为

$$R_f = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \\ R_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} \end{pmatrix} = (r_{ij}) \quad (3)$$

### 2.4 加权系数矩阵 $A$

各种因素对掏槽效果的影响程度不同,可以表示为加权系数矩阵  $A = (a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5)$ , 其中  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$  和  $a_5$  与  $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$  相对应,并且有下式成立

$$a_i \geq 0 \quad \sum_{i=1}^5 a_i = 1 \quad (4)$$

### 2.5 模糊评价矩阵 $B$

$$B = A \circ R_f = (a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5) \circ \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} \end{pmatrix} = (b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4) \quad (5)$$

式中  $b_j = \bigvee_{i=1}^5 (a_i \wedge r_{ij}) \quad i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad j = 1, 2, 3, 4$

其中:  $a \wedge b = \min(a, b)$ ,  $a \vee b = \max(a, b)$

### 2.6 标准评价矩阵 $B'$

假设  $b = b_1 + b_2 + b_3 + b_4$ , 标准评价矩阵  $B'$  由下式计算

$$B' = \left( \frac{b_1}{b}, \frac{b_2}{b}, \frac{b_3}{b}, \frac{b_4}{b} \right) = (b'_1, b'_2, b'_3, b'_4) \quad (6)$$

## 2.7 定量评价 C

一般情况下, 评价标准很难定量表示, 但为了验证各种掏槽方式的效果好坏, 必须定量评价。我们用百分制将评价标准分为四个等级

$$C_I = 86 \sim 100 \quad C_{II} = 75 \sim 85 \quad C_{III} = 60 \sim 74 \quad C_{IV} = 40 \sim 59$$

## 2.8 可靠性函数的建立

### 2.8.1 单位体积掏槽眼数目可靠性函数 $u_1$

掏槽方式不同, 掏槽眼数目就不同。根据统计资料, 当单位体积眼数少于 10 时, 掏槽方式即为很好。可靠性函数满足  $\Gamma$  分布 (上限型), 即

$$_{-A}(u_1) = \begin{cases} 1 & u_1 \leq 10 \\ e^{-k_1(u_1 - 10)} & u_1 > 10 \end{cases} \quad (7)$$

式中  $k_1 = 0.05$  单位体积掏槽眼数目可靠性函数曲线见图 2

### 2.8.2 掏槽眼布置合理性可靠性函数 $u_2$

根据爆破漏斗理论, 欲获得较好的掏槽效果, 自由面宽度与炮眼抵抗线的比值应等于 1, 如果二者的比值不等于 1, 掏槽效果就不理想。 $u_2$  曲线满足正态分布 (中间型), 由下式表示

$$_{-A}(u_2) = e^{-k_2(u_2 - 1)^2} \quad (8)$$

式中  $k_2 = 3.0$  掏槽眼布置合理性可靠性函数曲线见图 3

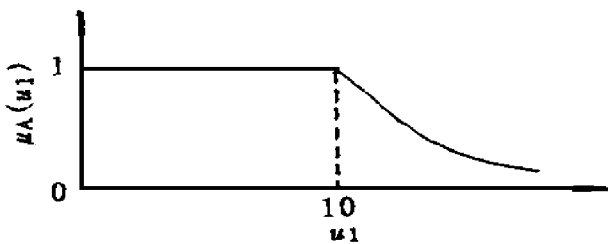


图 2 单位体积掏槽眼数目可靠性函数曲线

Fig. 2 The reliable function curves of breakhole numbers per-volume

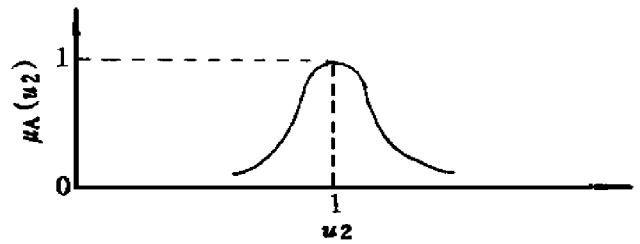


图 3 掏槽眼布置合理性可靠性函数

Fig. 3 The reliable function curves of rational layout breakholes

### 2.8.3 单位体积炸药消耗量可靠性函数 $u_3$

在中硬岩石中, 掏槽眼的单位长度装药量应不大于  $0.8 \text{ kg/m}$ 。U. Langefors 认为<sup>[2]</sup>, 单位体积的装药量应为  $13 \text{ kg/m}^3$  (炸药品种为 35% 狄那米特), 但是, 根据我国的资料统计此值高达  $26 \sim 32 \text{ kg/m}^3$  (2号岩石炸药)。所以, 可以认为单位体积耗药量小于  $26 \text{ kg/m}^3$  是合理的, 其可靠性函数曲线满足正态分布 (上限型), 依此有下列公式

$$_{-A}(u_3) = \begin{cases} 1 & u_3 \leq 26 \text{ kg/m}^3 \\ e^{-k_3(u_3 - 26)^2} & u_3 > 26 \text{ kg/m}^3 \end{cases} \quad (9)$$

式中  $k_3 = 0.02$  单位体积炸药消耗量可靠性函数曲线见图 4

### 2.8.4 掏槽利用率可靠性函数 $u_4$

掏槽眼利用率一般介于 70% ~ 85% 之间, 当大于 85% 时即为“很好”, 当小于 70% 时即视为不合理掏槽形式。其可靠性函数曲线满足梯形分布 (下限型), 由下式表示

$$\mu_A(u_4) = \begin{cases} 0 & u_4 \leq 0.7 \\ \frac{u_4 - 0.7}{0.85 - 0.7} & 0.7 < u_4 < 0.85 \\ 1 & u_4 \geq 0.85 \end{cases} \quad (10)$$

掏槽眼利用率可靠性函数曲线见图 5

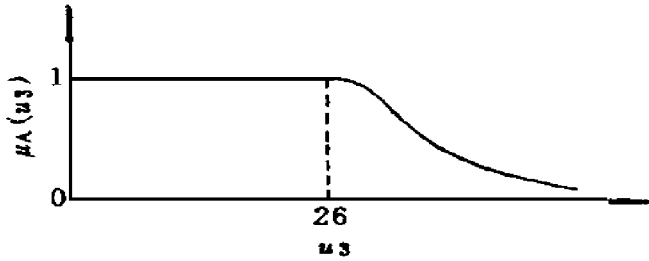


图 4 炸药单耗可靠性函数

Fig. 4 The reliable function curves of the explosive weight per volume

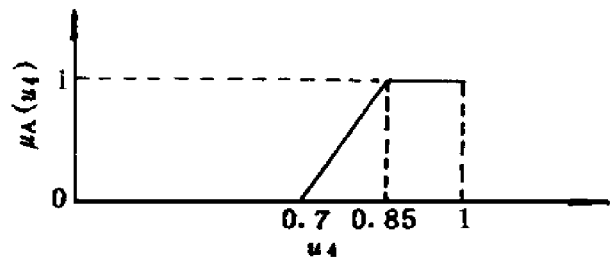


图 5 掏槽眼利用率可靠性函数

Fig. 5 The reliable function curves of utilizable rate of breakholes

### 2.8.5 掏槽眼钻眼工作量可靠性函数 $u_5$

由于统计数据不充足,无法确定出该函数关系式。

### 2.9 各种掏槽形式的 $u$ 值

分别取炮眼利用率为 0.70、0.75、0.80、0.85 和 0.90 五种情况,七种掏槽形式的  $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$  和  $u_4$  计算结果见表 1<sup>[3]</sup>。

表 1 各种掏槽方式的  $u$  值

Table 1  $u$  data of every breakhole patterns

方式	利用率	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	方式	利用率	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$
a	0.70	136.0	0.5	88.2	0.70	e	0.70	22.3	0.49	22.3	0.70
	0.75	126.7	0.5	82.3	0.75		0.75	20.8	0.49	20.8	0.75
	0.80	119.0	0.5	77.2	0.80		0.80	19.5	0.49	19.5	0.80
	0.85	111.8	0.5	72.6	0.85		0.85	18.4	0.49	18.4	0.85
	0.90	105.6	0.5	68.6	$\geq 0.90$		0.90	17.4	0.49	17.4	$\geq 0.90$
b	0.70	73.3	0.26	71.5	0.70	f	0.70	21.2	0.225	20.0	0.70
	0.75	68.4	0.26	66.7	0.75		0.75	19.7	0.225	18.6	0.75
	0.80	64.2	0.26	62.5	0.80		0.80	18.5	0.225	17.5	0.80
	0.85	60.4	0.26	58.9	0.85		0.85	17.4	0.225	16.4	0.85
	0.90	57.0	0.26	55.6	$\geq 0.90$		0.90	16.4	0.225	15.5	$\geq 0.90$
c	0.70	142.8	0.28	123.8	0.70	g	0.70	25.7	0.225	29.7	0.70
	0.75	133.3	0.28	115.5	0.75		0.75	24.0	0.225	27.7	0.75
	0.80	125.0	0.28	108.3	0.80		0.80	22.5	0.225	26.0	0.80
	0.85	117.6	0.28	102.0	0.85		0.85	21.2	0.225	24.5	0.85
	0.90	111.1	0.28	96.3	$\geq 0.90$		0.90	20.0	0.225	23.1	$\geq 0.90$
d	0.70	35.7	0.21	25.8	0.70						
	0.75	33.3	0.21	24.1	0.75						
	0.80	31.2	0.21	22.6	0.80						
	0.85	29.4	0.21	21.2	0.85						
	0.90	27.8	0.21	20.1	$\geq 0.90$						

## 2 10 评价结果

### 2 10 1 单因素评价矩阵 $R_f$

$$(a) \quad R_f = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 4 & 0 & 4 \end{bmatrix},$$

$$(b) \quad R_f = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 2 & 0 & 4 \end{bmatrix},$$

$$(c) \quad R_f = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix},$$

$$(d) \quad R_f = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2 & 0 & 8 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix},$$

$$(e) \quad R_f = \begin{bmatrix} 0 & 6 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix},$$

$$(f) \quad R_f = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 4 & 0 & 4 \\ 0 & 8 & 0 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$(g) \quad R_f = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 8 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

### 2 10 2 加权系数矩阵 $A$

$$A = (0 \ 3 \ 0 \ 3 \ 0 \ 2 \ 0 \ 2)$$

### 2 10 3 标准评价矩阵 $B'$

$$(a) \quad B' = (0 \ 0 \ 28 \ 0 \ 28 \ 0 \ 44), \quad (b) \quad B' = (0 \ 28 \ 0 \ 0 \ 28 \ 0 \ 44),$$

$$(c) \quad B' = (0 \ 5 \ 0 \ 0 \ 0 \ 5), \quad (d) \quad B' = (0 \ 2 \ 0 \ 3 \ 0 \ 3 \ 0 \ 2),$$

$$(e) \quad B' = (0 \ 375 \ 0 \ 375 \ 0 \ 0 \ 25), \quad (f) \quad B' = (0 \ 2 \ 0 \ 3 \ 0 \ 3 \ 0 \ 2),$$

$$(g) \quad B' = (0 \ 22 \ 0 \ 22 \ 0 \ 34 \ 0 \ 22)$$

### 2 10 4 各种掏槽的评价结果

(a) 63 可以; (b) 66.7 可以; (c) 71.0 可以; (d) 72.5 可以; (e) 77.1 好; (f) 72.5 可以; (g) 71.7 可以。

从以上计算结果看出, 七种掏槽形式按掏槽效果好坏排列顺序为: (e)、(d)、(f)、(g)、(c)、(b)、(a)。由上述分析结果, 考虑到我国井巷掘进中常用的掏槽形式, 采用 (e)、(f)、(g) 三种掏槽方式为最佳。

#### (1) 三角柱掏槽 (e)

该种掏槽由内槽和副槽组成, 内槽由 4 个装药炮眼和 3 个空眼组成, 外围由 6 个装药眼构成副槽, 内外槽顺序起爆。当眼深大于 2m 时, 三角柱内中心炮眼最先起爆, 该种掏槽炮眼利用率大于 90%。由于三角形顶点均为装药眼, 而每两个顶点之间有一个隔离冲击波的空眼, 所以装药炮眼中的炸药不易被压死, 可保证掏槽成功。

中国矿业大学于 1983 年在开滦马家沟矿对平巷深孔 (2.5~3m) 光面爆破中不同岩层不同掏槽方法、装药结构等爆破参数进行了一系列的试验研究<sup>[4]</sup>。结果表明, 三角柱掏槽爆破效果较好, 炮眼利用率均在 90% 以上。另外, 与 3m 深孔和 1.5m 浅孔爆破相比, 提高工效

87.4%, 炸药消耗减少  $0.03 \text{ kg/m}^3$ , 掘进成本每米减小 73.2 元, 现在已经在开滦矿务局全面推广该种掏槽方式。

### (2) 螺旋掏槽 (f)

该种掏槽共有 11 个相同直径的掏槽眼, 1 2 3 4 号装药孔顺序起爆, 0 号为空孔, 01 02 也为空孔或装一卷药最后起爆。螺旋掏槽的掏槽面积大, 炮眼利用率可达 90% 以上。

山东协庄矿在推广巷道深孔光爆中, 采用了该种掏槽方式, 取得了较好的爆破效果, 掏槽成功率达 100%。该矿还采用了大直径药包 (45mm), 提高了炸药的爆炸性能, 减少了孔数, 提高了爆破效率。

### (3) 单空眼菱形掏槽 (g)

该种掏槽由 8 个装药眼和 1 个空眼组成, 为便于钻孔, 每孔直径相同, 该种掏槽的槽腔面积较大, 同时适应性强, 在硬岩和软岩中爆破效果均较稳定, 炮眼利用率可达 90% 以上。

我国大瑶山隧道掘进中, 采用了此种掏槽方式, 成功地进行了 5m 深孔光面爆破, 每循环平均实际进尺为 4.85m, 炮眼利用率达到 97%, 获得了良好的经济效益。

## 3 结 论

(1) 评价掏槽方式的效果是一个模糊问题, 采用模糊数学的综合评价方法由于考虑了多种因素的综合作用, 因此更符合实际情况。

(2) 我们提出的评价准则和隶属函数形式基本上反映了影响掏槽效果的主要因素, 计算结果具有一定的实用性。

## 参 考 文 献

- 1 陈华腾. 影响直线深孔掏槽爆破效果的几个因素和解决方法. 地下工程, 1984, 7: 11~ 15
- 2 Zhang Meng, Zhou Jiaqi. Research and Engineering Applications in Rock Masses. In: The 30th U. S. Symposium on Rock Mechanics, 1989, 385~ 389
- 3 东兆星. 平巷钻爆参数的计算机辅助设计: [硕士学位论文] 北京: 中国矿业大学, 1990, 11~ 23
- 4 王廷武, 等. 地面及地下工程控制爆破. 北京: 煤炭工业出版社, 1990, 172~ 181

## OPTM IZATION STUDY OF UNDERM INE METHOD AND UNDERM INE PARAMETERS

Dong Zhaoxing, Wang Shuren

(China University of Mining Technology, Xuzhou, 221008)

**ABSTRACT** In this paper, a method of fuzzy theory for the optimization study of seven undermine method and parameters is developed. The authors adopt the observation data combined with this method to work out optimization, the results are in accord with the actual ones.

**KEY WORDS** undermine method, blasting parameters, synthesized evaluating methods of fuzzy theory