

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2020.03.011

露天深孔台阶爆破质量的模糊综合评价*

李建华^① 樊保龙^① 李立波^② 李芬^③ 张亚群^① 张立华^①

①北方爆破科技有限公司(北京,100089)

②首钢集团有限公司矿业公司(河北迁安,064404)

③浙江大学信息与电子工程学院(浙江杭州,310058)

[摘要] 为综合评定露天深孔台阶爆破的爆破质量,采用系统工程学中的模糊综合评价方法,分析层次结构,确定了爆破质量的影响因素及权重,建立了2个层次、3个单元、总计12项指标的多因素二级结构质量评价模型。结合辽宁某矿山具体的工程实例,对爆破质量评价模型进行了验证。结果表明,该评价模型实现了对爆破质量综合评价的目标,达到了预期效果,具有一定的推广价值。

[关键词] 露天深孔台阶爆破;爆破质量;系统工程;模糊综合评价;层次分析法

[分类号] TD235

Fuzzy Comprehensive Evaluation on Quality of Bench Blasting in Open Pit Mine

LI Jianhua^①, FAN Baolong^①, LI Libo^②, LI Fen^③, ZHANG Yaqun^①, ZHANG Lihua^①

① North Blasting Technology Co., Ltd. (Beijing, 100089)

② Mining Company, Shougang Group Co., Ltd. (Hebei Qian'an, 064404)

③ College of Information Science & Electronic Engineering, Zhejiang University (Zhejiang Hangzhou, 310058)

[ABSTRACT] Fuzzy comprehensive evaluation in system engineering was used to evaluate the blasting quality of bench blasting in open pit. The hierarchy was analysed. Influence factors and weight of blasting quality evaluation were determined. A quality evaluation model of multi-factor two-level structure with 12 indexes in two levels and three units was established. The systematic evaluation of blasting technology quality under the integration of mine cost was realized. This model was validated in a mine in Liaoning Province. Results show that the evaluation model could be used to evaluate blasting quality of engineering, and the expected effect is achieved. It has a certain promotion value.

[KEYWORDS] bench blasting in open pit; blasting quality; system engineering; fuzzy comprehensive evaluation; analytic hierarchy process

引言

2014年以来,以铁矿石、煤炭等为代表的大宗商品价格上的急剧波动给国内的矿山行业带来前所未有的冲击。矿山行业投入资金大,运营成本高,应最大限度地降低生产总成本^[1]。实现矿山总成本一体化管理是矿山企业优化资源配置、减负增效、降低运营成本、实现长远发展的必由之路。

露天采矿有穿孔、爆破、采掘、运输、排岩五大生产工艺。据研究,各工艺、工序成本中,穿孔和爆破成本约占露天采矿总成本的20%^[2]。露天深孔台

阶爆破质量不仅影响穿孔工艺,对采装等后续采矿工艺成本也有着重要的影响。因此,爆破质量直接影响着矿山企业的经济效益^[3]。对露天深孔台阶爆破工艺进行系统研究和综合评价,对于优化及确定爆破参数、降低矿山总成本有十分重要的意义。

伴随科技发展和先进爆破器材等的应用,露天深孔台阶爆破技术亦朝着数字化、智能化、精细化方向发展。随着数码雷管技术的日渐成熟,采用数码雷管替代高精度导爆管雷管实施露天深孔台阶爆破已在国内多个大型矿山得到推广和日益广泛的应用。在此基础上,客观、高效、全面、准确地对爆破质量进行综合评价,是促进爆破管理工作进一步提升

* 收稿日期:2019-08-13

第一作者:李建华(1982-),男,采矿高级工程师、爆破工程师,主要研究方向为矿山企业管理、矿产资源开发及采选工艺技术。E-mail:ljhsqpt@126.com

的关键环节。

以往露天矿山爆破质量往往采用单一的爆破单耗等直接经济指标进行评价^[4]。目前,作为一项新兴的测绘技术,已有矿山企业采用三维激光扫描技术准确测量爆破岩块的几何尺寸、爆堆形态和任意剖面参数,通过对爆堆进行勘测,实现了直接爆破效果的评估^[5-8]。在矿山采选成本一体化的大背景下,降低爆破及后续采矿工艺成本,对爆破质量进行综合评价,以提高整体经济效益,仍是矿山企业管理研究的课题之一。

矿山爆破质量监控与评价是矿山爆破优化的关键内容,快速准确地分析每次爆破质量有利于提炼爆破数据、积累爆破经验、指导爆破设计。因此,建立一套准确、易用的爆破质量定量评价系统无疑对矿山生产有重要的现实意义^[9]。

露天深孔台阶爆破质量的高低不应用单一的指标(如大块率、单耗等)来衡量,而应综合爆破安全、质量和矿山企业总成本等因素。在理论研究的基础上,采用系统工程学中的层次分析(analytic hierarchy process, AHP)法和模糊综合评价方法建立评价模型,对露天深孔台阶爆破质量进行综合评价。

1 模糊综合评价模型的建立

爆破质量评价涉及到安全、质量指标和经济性 3 个方面。其中,经济性评价方面除爆破成本外,将穿孔、采掘及选矿破碎成本进行了考量。在评价模型的建立过程中,数据指标的采集工作使用了多种方法,查阅相关的资料,对矿山爆破进行现场调查,并向爆破行业资深人士、采选工程技术人员、挖掘机司机、矿山经营管理人员等询问和了解实际情况,制定出了相对详细的分类指标。在确定评价指标的基础上,对各指标的权重进行了明确。

依据爆破质量综合评价涉及问题及相应指标,建立 2 个层次、3 个单元、12 项指标的多因素二级结构质量模糊综合评价模型,如图 1 所示。

2 综合评价方法基本模型的建立

应用系统工程学中的 AHP 法和模糊综合评价,建立综合评价方法的基本模型。而评价指标体系的构建,应当遵循科学性原则,其总体结构的合理性关系到评价的数据质量^[10]。将复杂问题分解为若干层次和若干因素,对两两指标之间的重要程度做出比

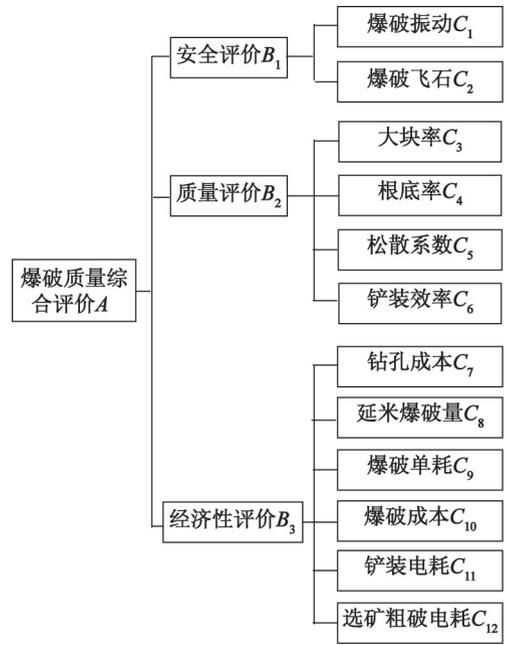


图 1 露天深孔台阶爆破质量综合评价模型

Fig. 1 Comprehensive evaluation model of deep-hole bench blasting quality in open-pit mine

较判断,建立判断矩阵,计算判断矩阵的最大特征值以及对应的特征向量,并得出各元素相对应的权重,以此可作为评价的依据^[11]。

2.1 模糊综合评价方法的基本数学模型

设立评价目标集 $U = (U_1, U_2, \dots, U_m)$ 作为综合评价的主因素层。其主因素层中的任一元素 U_i 划分评价子集的个数为 k , 于是得到评价的子因素集合为: $U_i = (u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ik})$ 。根据图 1, 可以分别得出: $m = 3$; $U_1 = (u_{11}, u_{12})$; $U_2 = (u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{24})$; $U_3 = (u_{31}, u_{32}, u_{33}, u_{34}, u_{35}, u_{36})$ 。

确定评价模型中各影响因素的权重。得出评价集 $T = (T_1, T_2, \dots, T_n)$, 主因素权重采用层次分析法计算得出 $W = (W_1, W_2, \dots, W_m)$, 经核定可得出爆破质量综合评价指标的权重如表 1 所示。同理, 可以得各子因素权重为 $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik})$, X_i 单因素评价矩阵为 R_i 。

2.2 二级模糊综合评价

评价集合是对各种指标作出的各种可能结果的集合。

1) 一级模糊综合评价的建立。结合表 1 对每一个子因素集 U_i 分别作出基于运算的综合评判, 模糊矩阵的合成运算由式(1)得出, 并进行归一化^[12]。

$$B_i = W_i R_i \tag{1}$$

2) 二级模糊综合评价的建立^[12]。将一级评价结果 B_i 用于构成因素集 U 的单因素评价矩阵 R , 以此获得二级综合评判:

表1 爆破质量综合评价指标权重表

Tab.1 Weight of comprehensive evaluation index of blasting quality

一级指标		二级指标	
指标名称	权重 W	指标名称	权重 W
安全评价	$W_1(0.40)$	爆破振动	$W_{11}(0.50)$
		爆破飞石	$W_{12}(0.50)$
质量评价	$W_2(0.30)$	大块率	$W_{21}(0.35)$
		根底率	$W_{22}(0.25)$
		松散系数	$W_{23}(0.20)$
		铲装效率	$W_{24}(0.20)$
		钻孔成本	$W_{31}(0.15)$
		延米爆破量	$W_{32}(0.15)$
经济性评价	$W_3(0.30)$	爆破单耗	$W_{33}(0.20)$
		爆破成本	$W_{34}(0.20)$
		铲装电耗	$W_{35}(0.20)$
		选矿粗破电耗	$W_{36}(0.10)$

$$B = WR. \quad (2)$$

3) 确定评价等级。评价等级的确定由加权计算法可以得出。

$$F = B \times S^T. \quad (3)$$

式中: F 为评价等级得分值; B 为综合评价集的计算结果; S^T 为对应相应等级的分数。

等级评价如表2所示。

表2 评价等级表

Tab.2 Evaluation grade table

等级	优秀	良好	合格	较差	差
分值范围	90~100	80~90	60~80	45~60	0~45

2.3 确定爆破质量影响因素的权重

判断矩阵表示针对上一层级中的某元素而言, 评定该层次中各有关元素之间相对重要性的状况^[13]。各影响因素权重的划分按照 AHP 法确定, 并对影响因素的等级水平进行量化。

具体操作步骤如下:

1) 通过对影响爆破质量各因素定性和定量的分析, 确定评价的方面和指标层次。

2) 同时, 参考 20 名爆破资深人士、爆破工程技术人员、矿山生产经营管理人员、采选指标分析人员等企业内外部人员的专业意见, 确定爆破安全、质量、经济性 3 方面分别对应的指标, 并对各指标权重进行赋值。

3) 在此基础上, 各指标的权重值由上述人员分别赋值取平均数获得, 以此作为依据, 判定各指标的

相对重要性的依据及指标的权重赋值。

4) 通过上述工作构建各评判层次中的判断矩阵, 计算权向量, 并对判断和数值做出一致性检验。

应用 AHP 法确定指标权重, 根据爆破业界人士的意见, 得到因素的判断矩阵如表 3 所示。AHP 法中, 可将判断矩阵的特征向量作为权重。

表3 主因素判断矩阵

Tab.3 Principal factor judgment matrix

主因素	U_1	U_2	U_3	W
U_1	3	4/3	4/3	0.40
U_2	3/4	1	1	0.30
U_3	3/4	1	1	0.30

求主因素判断矩阵最大特征值 λ_{\max} 和对应的特征向量 ω , 归一后得到 ω_1 。最大特征值 $\lambda_{\max} = 3.0$, 特征向量 $\omega = (4.00, 3.00, 3.00)$, 归一化得 $\omega_1 = (0.40, 0.30, 0.30)$ 。在此基础上, 对结果进行一致性检验: 一致性指标 $C_1 = 0.000$, 查看平均一致性指标 $R_1 = 0.58$, 得到一致性比率 $C_R = C_1/R_1 = 0.04 < 0.10$ 。因此, C_R 作为判断矩阵的一致性检验指标是可以接受的, 将 ω_1 取为第二层对总目标的权重 W 。

同理, 可得到各子因素的判断矩阵, 以此为依据得出第三层因素对于第二层各对应因素 $\{U_1, U_2, U_3\}$ 的权重分别为 $\{W_1, W_2, W_3\}$ 。

又一致性比率都满足 $C_{R_i} < 0.1 (i = 1, 2, 3)$, 通过一致性检验, 则可用其归一化特征向量作为权向量。通过计算及推导, 可得出主因素判断矩阵见表 3。经运算得出的权重 W, W_1, W_2, W_3 见表 4。

表4 权重 W, W_1, W_2, W_3 Tab.4 Weights W, W_1, W_2, W_3

权重	权向量 ω_i				λ_{\max}	C_R
W	0.40	0.30	0.30		3.00	0.000
W_1	0.50	0.50			2.00	0.000
W_2	0.35	0.25	0.20	0.20	3.99	0.004
W_3	0.15	0.15	0.20	0.20	5.99	0.002
		0.20	0.10			

3 露天深孔台阶爆破工程爆破质量综合模糊评价实例

辽宁某大型露天铁矿年采剥总量 1 000 万 t, 采用 250 mm 牙轮钻机、4 立电铲等装备。该矿地质条件、岩性较复杂, 节理裂隙、断层发育, 矿石主要成分为磁铁矿石、氧化矿、极贫矿, 岩石主要由花岗岩、辉绿岩、闪长岩等组成。该矿山在露天深孔台阶爆

破质量评价中根据矿岩类型和可爆性,分爆区进行爆破质量评价打分,在对单个爆区爆破质量评价等级的基础上,实现对爆破质量的逐月综合评价,以便对后续爆破管理的提升,以期达到逐步改善和提高矿山爆破质量的目的。

该矿山 2018 年 6 月爆破量、爆破次数等分级统计如表 5 所示。

表 5 爆破分级统计

Tab. 5 Statistics of blasting classification

序号	矿岩分级	孔径/mm	普式系数	爆破量/万 t	爆破次数
1 [#]	岩石 I	250	$5 < f \leq 8$	22	3
2 [#]	岩石 II	250	8 ~ 12	26	5
3 [#]	岩石 III	250	≥ 12	17	2
4 [#]	矿石 I	250	10 ~ 12	4	1
5 [#]	矿石 II	250	12 ~ 14	10	3
6 [#]	矿石 III	250	≥ 14	6	2
合计				85	16

3.1 建立爆破质量影响因素的层次结构模型

根据企业确定的爆破分级管理思路,建立如图 1 所示的 3 层次、12 项指标的多层次综合评价模型,为后续的单个爆区爆破质量评价提供基础。在该矿企的爆破质量评价中,针对大块率和选矿粗破电单耗的统计如表 6 所示。

表 6 两项指标统计标准差别

Tab. 6 Differences between statistical standards of two indicators

指标	矿石爆区	岩石爆区	备注
大块率	单边或对角线长度大于 1 m	大块计量不能装进电铲铲斗为标准	
选矿粗破电单耗	采集	不采集	按月采集

3.2 确定爆破质量各影响因素的权重

一级指标及二级指标的权重可以用 Delphi 和 AHP 法来确定^[14-15]。对于本案例中判断矩阵的归结,采用 AHP 法,确定各指标的权重,并参考爆破及矿山企业管理相关资深人士的专业意见以获得。

3.3 评价指标的隶属度

3.3.1 确定单因素隶属度

依据爆破质量评定等级划分原则,结合矿山露天深孔台阶爆破质量的综合评定,划分为优秀、良好、合格、较差、差 5 个等级。10 位业界专家对该矿山 6 月份 16 次爆破质量评价指标表中的因素进行

综合打分评定,该矿山全月露天深孔台阶爆破各因素指标评定结果如表 7 所示。

表 7 爆破质量模糊综合评价结果

Tab. 7 Fuzzy comprehensive evaluation index of blasting quality

评价要素	评价指标	评价结果				
		优	良	一般	较差	差
爆破安全	爆破振动	3	4	2	1	0
	爆破飞石	2	4	3	1	0
爆破质量	大块率	3	5	2	0	0
	根底率	2	5	2	1	0
	松散系数	3	5	1	1	0
	铲装效率	2	5	2	1	0
经济性	钻孔成本	2	5	3	0	0
	延米爆破量	2	4	3	1	0
	爆破单耗	3	5	2	0	0
	爆破成本	2	5	3	0	0
	铲装电耗	2	6	2	0	0
	选矿粗破电单耗	1	7	2	0	0

3.3.2 一级模糊综合评价

隶属函数是模糊集合运算转化为函数的桥梁,所以正确地确定隶属函数是利用模糊数学解决实际问题的关键之一^[16]。将每个评定等级的专家数与专家总数相比即可得到各影响因素的隶属度。例如,对表 7 中爆破振动 C_1 进行评价,3 个专家认为优秀,4 个专家认为良好,2 个专家认为合格,1 个专家认为较差,没有专家认为差,则评判集为 0.3、0.4、0.2、0.1、0,以此类推获得 R_2 、 R_3 ,则可构造出矩阵 R_i ;根据表 1,利用 AHP 法得到一级指标的权重值 W_i 。

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$W_1 = [0.50 \quad 0.50];$$

$$W_2 = [0.35 \quad 0.25 \quad 0.20 \quad 0.20];$$

$$W_3 = [0.15 \quad 0.15 \quad 0.20 \quad 0.20 \quad 0.20 \quad 0.10].$$

经运算 $B_i = W_i \times R_i$ 可得出:

$$B_1 = [0.250 \quad 0.400 \quad 0.250 \quad 0.100 \quad 0];$$

$$B_2 = [0.255 \quad 0.500 \quad 0.180 \quad 0.065 \quad 0];$$

$$B_3 = [0.210 \quad 0.525 \quad 0.250 \quad 0.015 \quad 0].$$

3.3.3 二级模糊综合评价

由上述一级模糊综合评价计算出的 B_1 、 B_2 、 B_3 , 构成评价矩阵

$$R = \begin{bmatrix} 0.250 & 0.400 & 0.250 & 0.100 & 0 \\ 0.255 & 0.500 & 0.180 & 0.065 & 0 \\ 0.210 & 0.525 & 0.250 & 0.015 & 0 \end{bmatrix}.$$

由表1得出 $W = [0.4 \quad 0.3 \quad 0.3]$, 根据 AHP 法式(2)求得权重

$$B = W \times R =$$

$$[0.2395 \quad 0.4765 \quad 0.2290 \quad 0.0640 \quad 0].$$

3.4 露天深孔台阶爆破质量的模糊综合评价

根据露天深孔台阶爆破质量综合评价中, 对各评价等级隶属度及各评价等级取值, 利用式(3)计算可得出:

$$F = B \times S^T =$$

$$[0.2395 \quad 0.4765 \quad 0.2290 \quad 0.0640 \quad 0] \times$$

$$\begin{bmatrix} 95.0 \\ 85.0 \\ 70.0 \\ 52.5 \\ 22.5 \end{bmatrix} = 81.88.$$

其中, S^T 的取值由表2分区间取平均数获得。

对照表2所列标准分值, 可获得该露天矿山全月爆破质量综合评定效果为良好, 接近合格区间上限, 该矿山6月份的爆破质量仍具有一定的提升空间。后续通过对该矿山企业逐月爆破质量的综合评价, 可以了解该矿总体爆破质量管理水平提升情况, 并根据专家意见进行反思及总结, 借助量化综合评价的方法, 实现矿山企业爆破质量横向对比, 以达到逐步提升该矿企爆破质量和矿山管理水平的目的。表8为6~12月份爆破质量的综合评价。

表8 爆破质量综合评价

Tab.8 Comprehensive evaluation of blasting quality

月份	6	7	8	9	10	11	12
评价 分值	81.88	82.02	83.22	83.10	82.12	82.66	83.58

4 结论

以矿山企业降本增效及成本一体化研究为背景, 将露天矿山深孔台阶爆破质量评价为研究课题,

确定了从安全、质量、经济性3个方面对爆破质量进行评价的方案。通过设立12项评价指标作为系统评价的指标层, 建立了相对完善的模糊综合评价模型和评价体系, 为矿山爆破工艺及经营生产决策提供了数据支持。

尽管该模糊综合评价方法以特定的矿山为背景, 但研究对象及评价系统具有普遍的适用性, 对露天深孔台阶爆破质量的综合评价具有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 张瑞新, 张幼蒂. 露天采矿优化决策的新途径[J]. 中国矿业大学学报, 1994, 23(1): 46-52.
ZHANG R X, ZHANG Y D. A new approach to optimum decision-making of surface mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1994, 23(1): 46-52.
- [2] 万德林. 露天矿爆破效果对铲装效率及生产成本的影响[J]. 世界采矿快报, 2000, 16(9): 317-319.
- [3] 方伟, 张新光. 影响露天矿台阶爆破效果的因素分析[J]. 采矿技术, 2010, 10(5): 85-86, 104.
- [4] 李建华, 任赛. 露天深孔台阶爆破质量评价管理体系建设[J]. 有色金属(矿山部分), 2017, 69(2): 50-53.
LI J H, REN S. Quality evaluation and management system for bench blasting in open-pit mine[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2017, 69(2): 50-53.
- [5] 施富强, 廖学燕, 龚志刚, 等. 三维数字化爆破质量评价技术[J]. 工程爆破, 2016, 22(5): 29-31.
SHI F Q, LIAO X Y, GONG Z G, et al. Three-dimensional digitalization technology on blasting quality evaluation[J]. Engineering Blasting, 2016, 22(5): 29-31.
- [6] 施富强, 廖学燕, 裴尼松, 等. 基于三维激光扫描技术的爆破对象数字化研究[J]. 爆破, 2015, 32(3): 45-48.
SHI F Q, LIAO X Y, PEI N S, et al. Study on digitalization of blasting objects based on 3D laser scanning technology[J]. Blasting, 2015, 32(3): 45-48.
- [7] 陈为, 李建文. 论三维激光扫描仪在矿山露天爆破设计中的应用[J]. 中国锰业, 2012, 30(3): 42-44.
CHEN W, LI J W. Application of 3D laser scanner in mine blasting design in open [J]. China's Manganese Industry, 2012, 30(3): 42-44.
- [8] 伊志宣, 郭连军, 李超亮, 等. 矿山爆破质量定量评价系统研究[J]. 工程爆破, 2012, 18(3): 25-28.
YI Z X, GUO L J, LI C L. Research on the quantitative evaluation system of mine blasting quality[J]. Engineering Blasting, 2012, 18(3): 25-28.
- [9] 郑明贵, 蔡嗣经. 海外铜矿矿产资源开发技术经济评价研究[J]. 矿业研究与开发, 2009, 29(2): 102-105.

ZHENG M G, CAI S J. Study on technological and economic evaluation of overseas copper ore resources exploitation[J]. Mining Research and Development, 2009, 29(2):102-105.

[10] 张颖. 多属性决策理论在矿山开采规模中的应用[J]. 有色金属科学与工程, 2011, 2(2):86-89.

ZHANG Y. The application of multi-attribute decision making method in mining scale[J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2011, 2(2):86-89.

[11] 杨德强, 池恩安, 潘玉忠, 等. 应用层次分析法分析土石方爆破影响因素的权重[J]. 矿冶工程, 2013, 33(5):30-32, 37.

YANG D Q, CHI E A, PAN Y Z, et al. Weight analysis for influencing factors of earth-rock blasting with analytic hierarchy process[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2013, 33(5):30-32, 37.

[12] 赵国彦, 黄治成, 刘高, 等. 中深孔爆破效果的 AHP-模糊综合评价方法[J]. 矿业研究与开发, 2010, 30(2):106-108.

ZHAO G Y, HUANG Z C, LIU G, et al. Comprehensive AHP-fuzzy evaluation of effect of medium-length hole blasting[J]. Mining Research and Development,

2010, 30(2):106-108.

[13] KARIUKI S G, LOWE K. Integrating human factors into process hazard analysis[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2007, 92(12):1764-1773.

[14] 王坚强, 刘先建, 刘力根. 企业技术创新能力模糊综合评价[J]. 技术经济, 2002(7):51-52.

[15] 陈坚红, 盛德仁, 李蔚, 等. Delphi 和 AHP 集成的火电建设工程模糊综合评价方法[J]. 热能动力工程, 2003, 18(3):304-307, 327.

CHEN J H, SHENG D R, LI W, et al. Fuzzy and comprehensive evaluation method for a thermal power plant construction project by the integration of Delphi method and AHP[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2003, 18(3):304-307, 327.

[16] 刘坤, 陈先锋, 李萍, 等. 模糊层次评价在煤矿采空区自然发火中的应用[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(5):120-123.

LIU K, CHEN X F, LI P, et al. Fuzzy hierarchy evaluation on spontaneous combustion in coal mine goafs[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010, 32(5):120-123.

声 明

1、本刊对发表的文章拥有出版电子版、网络版版权,并拥有与其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬已包含以上费用。

2、本刊文章版权所有,未经书面许可,不得以任何形式转载。

《爆破器材》编辑部

第六届(2019年—2024年)《爆破器材》编委会委员名单

主 编	何 勇						
常务副主编	吴红梅						
副 主 编	于立志	龙 源	许毅达	陆 明	杨祖一	熊代余	
编 委	王宝兴	王越胜	王鹏程	叶志文	孙金华	刘永存	朱 朋
	李国仲	李晓杰	毕福强	张同来	张先锋	张建国	沈兆武
	沈瑞琪	宋锦泉	杨光成	郭子如	倪欧琪	黄寅生	谢兴华
	曹端林	彭金华	蒋荣光	李新蕊(美国)	蒋云峰(美国)	三宅淳巳(日本)	
顾 问	吕春绪	古積博(日本)					

《爆破器材》编辑部