

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.01.023

## 基于HAZOP与模糊理论的台阶爆破安全综合评价\*

叶海旺<sup>1,2</sup>,付威志<sup>1</sup>,李 宁<sup>1,2</sup>,王李管<sup>3</sup>,雷 涛<sup>1,2</sup>,王其洲<sup>1,2</sup>

(1. 武汉理工大学资源与环境工程学院,武汉 430070;2. 矿物资源加工与环境湖北省重点实验室,武汉 430070;  
3. 中南大学资源与安全工程学院,长沙 410083)

**摘要:** 针对台阶爆破安全影响因素具有模糊性且难以量化的特点,提出了一种耦合危险性与可操作性分析(HAZOP)和模糊理论的综合评价方法。首先通过建立HAZOP评价指标体系辨识台阶爆破中存在的危险因素,分析危险因素产生的原因和造成的后果,运用层次分析法(AHP)确定各评价指标的权重;然后基于模糊理论对台阶爆破作业安全进行定量描述,得到台阶爆破安全评分等级;最后以贵州省某土石方工程为例,验证了该综合评价方法的科学性和实用性。

**关键词:** 台阶爆破; HAZOP; 模糊算法; 层次分析法; 定量评价

**中图分类号:** TD608      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-487X(2020)01-0158-07

## Comprehensive Evaluation of Bench Blasting Safety based on HAZOP & Fuzzy Theory

YE Hai-wang<sup>1,2</sup>, FU Wei-zhi<sup>1</sup>, LI Ning<sup>1,2</sup>, WANG Li-guan<sup>3</sup>, LEI Tao<sup>1,2</sup>, WANG Qi-zhou<sup>1,2</sup>

(1. School of Resource and Environment Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2. Hubei Key Laboratory of Mineral Resources Processing and Environment, Wuhan 430070, China; 3. School of Resource and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** The influence factors of bench blasting safety are of fuzziness and it is difficult to quantify them. This paper proposed a comprehensive method which integrates hazard and operability analysis (HAZOP) and fuzzy theory to evaluate the safety of bench blasting. Firstly, the HAZOP evaluation index system was established to identify the risk factors in the bench blast, and the causes and consequences of risk factors were analyzed. The relative weight of each evaluation indicators was then to determined by implementing Analytic Hierarchy Process (AHP). Secondly, the fuzzy theory was utilized to quantitatively describe and rate the bench blasting operation safety. Finally, this method was verified to be scientific and practicable in a bench blast project in Guizhou Province.

**Key words:** bench blasting; HAZOP; fuzzy algorithm; AHP; quantitative evaluation

台阶爆破安全影响因素众多,各因素相互作用相互影响,危险源的辨识难以做到系统和全面。鉴于此,台阶爆破安全评价既要

对爆破整体有一定的判断,又要对爆破工艺中潜在的风险准确定位,国内外专家学者对台阶爆破安全评价进行了探讨,把安全评价理论引入到台阶爆破中,对爆破中的危险源进行辨识、分析、评价,起到很好的事故预防作用,从而降低事故的发生频率和造成的危害。屈金坡针对常峪铁矿实际情况,通过设置危险分析小组、确定危险源、查找危险性、评定危险性级别、制定预防性措施等方面对矿山进行安全评价,取得了良好的社会效益<sup>[1]</sup>。罗文贵针对爆破作业中

收稿日期:2019-09-26

作者简介:叶海旺(1971-),男,副教授、博士,从事采矿、爆破方面的研究与教学工作,(E-mail)yehaiwang@sina.com。

通讯作者:李 宁(1986-),男,讲师、博士,从事采矿、数字化矿山方面的研究与教学工作,(Email)450109670@qq.com。

基金项目:贵州省科技计划项目(20172803);中央高校基本科研业务费专项资金资助(2017-zy-071、2018-zy-81、2018-zy-85)

的拒爆事故,定性分析导致爆破事故的因素,定量计算爆破事故发生概率,提出了降低爆破事故发生的具体措施<sup>[2]</sup>。周令剑论述了小型露天采石场爆破作业常用的安全评价方法,为爆破作业事故预防提供了参考<sup>[3]</sup>。崔晓荣运用原因型鱼骨图探究引起露天煤矿爆破事故风险因素,通过冗余设计安全防护体系,实现安全、成本和效益的平衡<sup>[4]</sup>。

针对台阶爆破安全问题,大多数学者从爆破事故本身出发采用系统安全评价方法探究事故原因,而综合考虑整个爆破工艺流程,对爆破工艺存在的危险源研究相对较少。张景钢对煤矿瓦斯爆炸事故进行具体分析<sup>[5]</sup>,探究了 HAZOP 分析程序,强调了分析过程,实现了系统评价和事故预防。JSeccatero 运用 HAZOP 并结合风险矩阵理论完成了岩石

爆破的风险评价<sup>[6]</sup>,针对可能出现的后果制定合理的预防措施,降低事故发生频率及事故影响程度。

HAZOP 分析作为一种结构化评价方法,能够充分考虑整个爆破工艺,具有风险识别、风险后果分析,客观定性评价等优点。层次分析法(AHP)能够将复杂问题层次化,给出定量结果,为风险等级判定及风险评价提供依据<sup>[7]</sup>。模糊算法引入层次分析法能有效去除个人主观因素引起的偏差<sup>[8]</sup>,能很好的解决模糊的、难以量化的问题。基于本文,采用模糊层次分析法与 HAZOP 方法相结合,建立爆破安全综合评价模型,定性分析台阶爆破中存在的安全隐患,定量计算爆破安全等级并能准确定位台阶爆破流程中的存在风险的环节,制定对应的安全防护措施,实现过程控制。

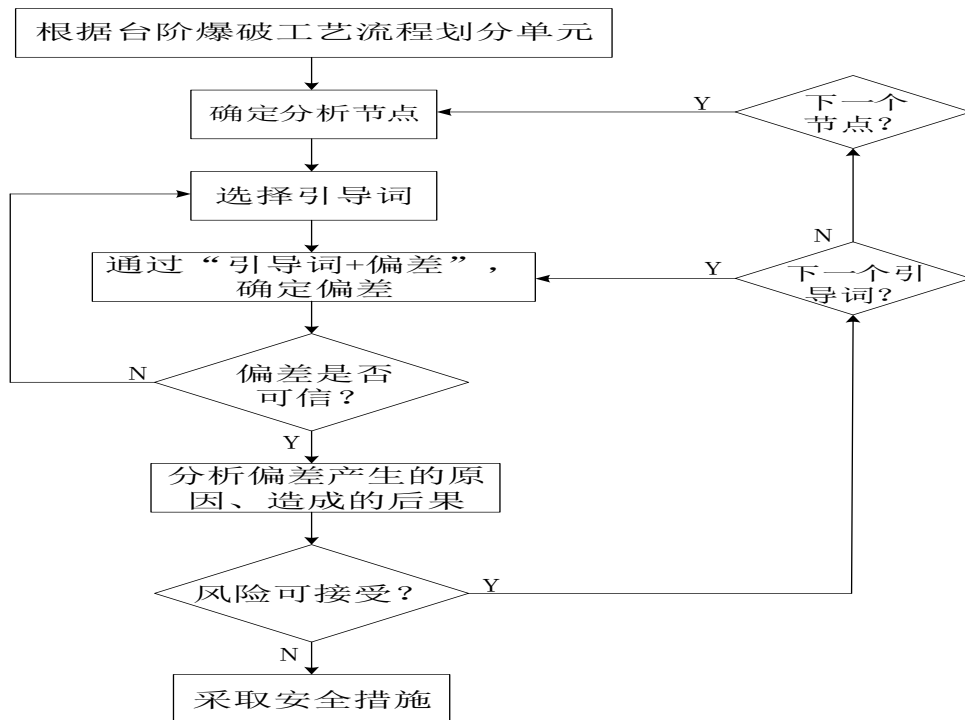


图 1 台阶爆破 HAZOP 分析流程图

Fig. 1 Flow chart of bench blasting HAZOP analysis

## 1 HAZOP 综合安全评价方法分析

HAZOP 分析法应用于台阶爆破,按照爆破工艺流程,划分单元,确定节点,通过引导词法进行工艺流程分析,分析各单元中各相关参数的偏差以及可能造成的影响及后果,辨识作业过程中的危险源<sup>[9]</sup>,台阶爆破 HAZOP 具体分析流程见图 1,基于 HAZOP 建立评价指标体系,通过 AHP 确定指标权重、建立模糊评价矩阵,运用模糊算法对台阶爆破安全进行定量评价。

### 1.1 台阶爆破单元 HAZOP 分析

导致爆破事故发生因素具有多样性和复杂性特点,针对具体台阶爆破事故进行分析,找出诱发事故的原因,它不仅包含人、机、环、管等要素,还包括设计存在的缺陷等多个环节和因素,各种因素相互影响、相互叠加,科学的识别事故诱发因素,能使我们事故的预防与控制更为有效<sup>[10]</sup>,按照 HAZOP 分析步骤,依据台阶爆破工艺流程,对台阶爆破进行单元划分,将整个爆破流程划分为设计、管理和爆破生产施工等关键单元,详细划分如表 1 所示。

表 1 HAZOP 分析单元划分表  
Table 1 HAZOP analysis unit partition table

I 级单元	II 级单元
爆破管理(B <sub>1</sub> )	技术水平(C <sub>1</sub> )
	安全培训(C <sub>2</sub> )
	安全责任制(C <sub>3</sub> )
	检查制度(C <sub>4</sub> )
	操作规程(C <sub>5</sub> )
爆破设计(B <sub>2</sub> )	安全设计依据(C <sub>6</sub> )
	现场勘察与数据采集(C <sub>7</sub> )
	爆破参数设计(C <sub>8</sub> )
	预防保护措施(C <sub>9</sub> )
爆破施工(B <sub>3</sub> )	安全核算(C <sub>10</sub> )
	钻孔(C <sub>11</sub> )
	装药(C <sub>12</sub> )
	堵塞(C <sub>13</sub> )
	联网(C <sub>14</sub> )
	防护警戒(C <sub>15</sub> )

台阶爆破 HAZOP 分析单元划分完成后,将 II 级

单元作为 HAZOP 分析的节点,对其进行偏差分析,找出引起偏差的原因及其造成的后果<sup>[11]</sup>,引导词法是偏差分析中最常用的方法,即:“偏差=引导词+工艺参数”。确定台阶爆破 HAZOP 模型的节点后,选取 HAZOP 模型的引导词,以节点中可能形成有意义偏差的因素作为引导词,选取 Less(少)、No(空白)、Part Of(部分)、Reverse(相反)、Other Than(其它)等作为台阶爆破 HAZOP 模型的引导词,根据引导词确定台阶爆破 HAZOP 模型中有意义的偏差<sup>[12,13]</sup>,针对台阶爆破每个单元节点分析结果如表 2、表 3、表 4 所示。

1.2 台阶爆破安全评价指标体系

基于 HAZOP 流程分析的基础上,运用 AHP 中递阶层次结构理论,台阶爆破安全评价指标体系划分为目标层、准则层、要素层三个层次,从上到下分别用 A、B、C 表示三个层次,同一层次各要素用数字 1、2、3……从左至右依次表示,准则层 B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>3</sub>,要素层 C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>…C<sub>15</sub>(见表 1)。

表 2 爆破管理单元 HAZOP 分析表

Table 2 HAZOP analysis for blasting operations management unit

II 级单元	引导词	原因	后果	措施
技术水平	No	无证上岗	不了解爆破流程,不能正确使用爆破设备及材料	加强作业人员安全教育与培训
安全培训	Less	三级教育、工种教育等不符合要求	缺乏基本的安全常识,违章作业,造成事故	实行岗前培训与考核制度
安全责任制	No	规章制度缺失、未按最新要求制定	管理人员失职引发爆破事故	落实安全责任制
检查制度	Part Of	未制定检查制度或检查制度制定不合理	安全风险意识不足	制定详细严格的检查制度,并落实
操作规程	Part Of	安全操作规程不完善	易引发事故	加强作业人员操作培训

表 3 爆破设计单元 HAZOP 分析表

Table 3 Analysis of blasting operation design unit HAZOP

II 级单元	引导词	原因	后果	措施
安全设计依据	Part Of	地质资料不详尽、不符合国家标准		进行工程现场踏勘,严格按照国标、行标与规范进行
现场勘察与数据采集	Part Of	设计人员对爆破对象没有一定的了解,现场勘察也是敷衍了事	爆破方案设计有误	详细掌握工程地质条件,进行施工预处理

1.3 评价指标权重计算

AHP 是系统工程中常用的赋权方法,依据已建立的台阶爆破安全评价指标体系,按照层次分析法分析流程,构造两两比较判断矩阵,利用 MATLAB 软件计算判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{max}$  及其对应的特

征向量 W,作一致性检验,平均随机一致性指标 RI 值依据表 5 选取,若检验系数  $CR < 0.1$ ,则构造的矩阵通过了一致性检验,从而量化各指标的权重<sup>[14,15]</sup>, I 级单元权重指标  $\bar{W} = (0.294 \quad 0.353 \quad 0.353)$ ,  $\lambda_{max}=3, CR=0$ , II 级指标权重,如表 6 所示。

表 4 爆破施工单元 HAZOP 分析表

Table 4 HAZOP analysis for blasting production construction unit

II 级单元	引导词	原因	后果	措施
钻孔	Less、Part Of	钻孔长度或倾斜度不达标、打残眼、未对各个炮孔进行逐测量验收	爆破飞石事故、残眼残留炸药爆炸事故	严格按照设计方案逐孔进行检查
装药	Less、More、Other than	装药量过大或过小、装药工艺不合理或未按规定装药,未严格检查起爆器材	地震效应、飞石	严格按照施工方案进行,加强监管力度
堵塞	Other than	堵塞长度、密实度不达标	飞石、冲孔	严格按照施工方案,加强炮孔堵塞检查
联网	Other than	未检查网路连接、起爆工艺不合理或未按规定起爆,完成网路连接后,是否进行再次检查并点算雷管、炸药用量	容易发生早爆、拒爆等爆破事故	重复多次进行检验,确保网路准确
防护警戒	Less、Part Of、Other than	警戒范围不达标、未清场或清场不彻底、爆信号不符合要求、未采取必要的减震措施、未设置警示标志、警戒区内未设置专职守卫人员、过早解除警戒	伤人事故、损坏机械设备	制定防护方案,指定负责人,落实安全生产责任制

表 5 平均随机一致性指标 RI

Table 5 Average random consistency indicator RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

表 6 评价指标权重

Table 6 Weight of evaluation index

二级指标	权重值 $W_B$	特征值 $\lambda_{max}$	检验系数 $CR$
C1	0.307		
C2	0.231		
C3	0.154	5.000	0.000
C4	0.177		
C5	0.131		
C6	0.152		
C7	0.102		
C8	0.396	5.144	0.036
C9	0.271		
C10	0.079		
C11	0.138		
C12	0.260		
C13	0.260	5.010	0.002
C14	0.260		
C15	0.082		

1.4 模糊综合评判

根据台阶爆破现场情况,评价因素  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ ,其中  $U_i$  为评价指标体系中的各评价因素,评语等级的论  $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4\} = \{\text{优, 良, 中, 差, 劣}\}$ ,因素  $U_i$  对评语  $V_j$  隶属度需要通过隶属函数实现,要素层各评价因素的论域为实数集,选择偏大型梯形模糊分布作为隶属度函数,如式(1)所示,多个专家对要素层打分,将分值通过隶属度函数  $S(x)$  计算出其隶属度,其中  $x$  为专家打分,依据表 7 中隶属度与评价指标的关系求出其评价等级,依次得出要素层的评价向量。

$$S(x) = \begin{cases} 0 & x < 60 \\ \frac{x - 60}{90 - 60} & 60 \leq x \leq 90 \\ 1 & x > 90 \end{cases} \quad (1)$$

例如,设有  $k$  个专家参与打分,对某二级指标有  $k_1$  人认为“优”(某专家对该指标的打分为 91 分,由  $S(x)$  可求得其隶属度为“优”), $k_2$  人认为“良”,...,有  $k_n$  人认为“劣”,且  $\sum_{j=1}^n k_j = k$ ,进而计算出该指标的隶属度为  $\{\frac{k_1}{k}, \frac{k_2}{k}, \dots, \frac{k_n}{k}\}$ 。

模糊综合评价数学模型的建立,一级指标  $B_i (i=1, 2, 3)$ ,有  $j$  个二级指标,建立一级评价指标的模糊关系矩阵  $R_i$ ,由模糊关系矩阵  $R_i$  并结合二级指标权重行列式  $W_c$ ,依据式(3)进行模糊综合评价,得到一

级模糊评价矩阵  $N=[N_1, N_2, N_3]^T$ , 依据式(4)对一级评价指标进行模糊综合评价得到台阶爆破评价结果  $F$ 。

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \cdots & r_{i1j} \\ r_{i21} & r_{i22} & \cdots & r_{i2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{ij1} & r_{ij2} & \cdots & r_{ijj} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$N = W_c \circ R_i = (N_1, N_2, N_3) \quad (3)$$

$$F = W_b \circ N \quad (4)$$

式中,  $R$  矩阵为专家评价打分构成;  $\circ$  为模糊算子, 进行模糊变换时要选择适宜的模糊合成算子, 选用在运算时兼顾各因素的  $M(\cdot, \oplus)$  算子<sup>[16,17]</sup>。

为了能客观判定台阶爆破安全性等级, 对评语等级进行赋值, 提高评价结果的科学性和可信度, 令  $S_i = (55 \ 65 \ 75 \ 85 \ 95)$ , 建立台阶爆破安全性体系总得分数学模型, 得到被评价对象的分值<sup>[18]</sup>, 将分值与  $S_i$  对比, 确定隶属等级。

$$u_i = \sum_{i=1}^5 N_i \cdot S_i \quad (5)$$

表 7 隶属度与评价等级的关系

Table 7 Relationship between membership degree and evaluation level

隶属度函数	评价等级
$S(x) = 1$	优
$\frac{2}{3} \leq S(x) < 1$	良
$\frac{1}{3} \leq S(x) < \frac{2}{3}$	中
$0 < S(x) < \frac{1}{3}$	差
$S(x) = 0$	劣

## 2 应用实例

贵州省某土石方工程, 整个工程挖方约 648 万  $m^3$ , 填方约 55 万  $m^3$ , 石方爆破约 500 万  $m^3$ , 以该工程台阶爆破为对象, 建立台阶爆破安全评价体系, 依据 15 位专家学者对评价体系中各因素的打分计算各因素的隶属度, 对该工程石方爆破进行评价, 汇总统计结果, 依据式(1), 计算二级指标隶属度, 如表 8 所示。

根据表 8 得出二级评价矩阵  $R_i$ 。

表 8 指标隶属度统计

Table 8 Indicator membership statistics

二级指标	$S_1$ (劣)	$S_2$ (差)	$S_3$ (中)	$S_4$ (良)	$S_5$ (优)
$C_1$	0	0	0.3	0.6	0.1
$C_2$	0	0.5	0.3	0.1	0.1
$C_3$	0	0.3	0.4	0.2	0.1
$C_4$	0	0.4	0.4	0.1	0.1
$C_5$	0	0.6	0.2	0.1	0.1
$C_6$	0	0	0	0.4	0.6
$C_7$	0	0.4	0.4	0.1	0.1
$C_8$	0	0	0	0.4	0.6
$C_9$	0.2	0.4	0.2	0.1	0.1
$C_{10}$	0	0.6	0.2	0.1	0.1
$C_{11}$	0	0.1	0.1	0.6	0.2
$C_{12}$	0	0.1	0.2	0.5	0.2
$C_{13}$	0	0.2	0.2	0.5	0.1
$C_{14}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4
$C_{15}$	0	0.3	0.2	0.3	0.2

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.3 & 0.6 & 0.1 \\ 0 & 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0 & 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0 & 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

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

根据表 6, 式(3)可得

$$N_1 = \overline{W}_1 \circ R_1 = (0 \ 0.311 \ 0.310 \ 0.269 \ 0.100)$$

$$N_2 = \overline{W}_2 \circ R_2 =$$

$$(0.054 \ 0.197 \ 0.111 \ 0.264 \ 0.374)$$

$$N_3 = \overline{W}_3 \circ R_3 = (0 \ 0.142 \ 0.186 \ 0.446 \ 0.226)$$

由式(4)得

$$F = \bar{W} \circ N = (0.019 \quad 0.212 \quad 0.196 \quad 0.331 \quad 0.242)$$

由式(5)得系统整体评分

$$u = \sum_{i=1}^5 \mu(F) \cdot S_i$$

采用加权平均法进行计算,得出系统整体评分 $u$ 为80.65, I级指标单元得分75.83、82.07、82.56,系统整体评分对应安全级别为“中”,该工程台阶爆破存在风险,爆破管理单元得分较低,运用HAZOP分析方法对爆破管理单元进行分析发现该项目各类人员岗位职责和技术操作细则不完善,安全标准不明确,检查制度未彻底落实,未建立安全监督网络,对于管理人员和作业人员未进行经常性安全教育。

### 3 结论

(1)针对台阶爆破的特点,引入了以系统工程为基础的HAZOP危险性评价方法,将台阶爆破划分为3个I级单元15个II级单元,利用引导词找出爆破工艺中存在的危险因素,并对危险因素产生的原因、导致的后果及采取的控制措施等进行分析。

(2)基于HAZOP分析,建立了台阶爆破安全评价指标体系,引用AHP确定各评价因素的权重,运用模糊算法确定了台阶爆破安全等级,以事故预防代替事故处理。

(3)基于HAZOP的台阶爆破安全性模糊综合评价,应用于某土石方爆破工程,能够识别台阶爆破流程中潜在的风险,定量评价安全等级,具有很好的准确性和实操性。

#### 参考文献 (References)

- [1] 屈金坡,孟军良,齐朝鹏. 预先危险分析方法在常峪铁矿的应用[J]. 矿冶工程, 2015, 35(4):24-26.
- [1] QU Jin-po, MENG Jun-liang, QI Zhao-peng. Application of preliminary hazard analysis in changyu iron mine [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2015, 35(4):24-26. (in Chinese)
- [2] 罗文贵,谢贤平,粟美维,等. 爆破工程中电爆网络拒爆事故分析及对策[J]. 安全与环境学报, 2016, 16(2):20-24.
- [2] LUO Wen-gui, XIE Xian-ping, SU Mei-wei, et al. Countermeasures against the power-transmission network blasting through the misfire accident analysis based on the blasting engineering theory [J]. Journal of Safety and Environment, 2016, 16(2):20-24. (in Chinese)
- [3] 周令剑,王宏奇. 小型露天采石场爆破作业安全评价方法的探讨[J]. 工业安全与环保, 2006(4):60-62.
- [3] ZHOU Ling-jian, WANG Hong-qi. Discussions on safety assessment measures for blasting at small stone quarries [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2006(4):60-62. (in Chinese)
- [4] 崔晓荣. 基于鱼骨图模型的露天煤矿高温爆破施工安全研究[J]. 煤矿安全, 2018, 49(3):242-244,248.
- [4] CUI Xiao-rong. Safety analysis of high temperature blasting in opencast coal mine based on fishbone model [J]. Safety in Coal Mines, 2018, 49(3):242-244,248. (in Chinese)
- [5] 张景钢,安美秀. HAZOP在煤矿安全评价中的应用研究[J]. 矿业安全与环保, 2016, 43(5):111-114.
- [5] ZHANG Jing-gang, AN Mei-xiu. Application of HAZOP in coal mine safety evaluation [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2016, 43(5):111-114. (in Chinese)
- [6] SECCATOREJ, ORIGLIASSOC, DE TOMIG. Assessing a risk analysis methodology for rock blasting operations [C] // The 10th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting. New Delhi, 2013:51-60.
- [7] 周荣义,李石林,刘何清. HAZOP分析中LOPA的应用研究[J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(7):76-81.
- [7] ZHOU Rong-yi, LI Shi-lin, LIU He-qing. Study on application of LOPA in HAZOP [J]. China Safety Science Journal, 2010, 20(7):76-81. (in Chinese)
- [8] DUNJO J, FTHENAKIS V, VILCHEZ JA, ARNALDOS J. Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 173(1-3):19-32.
- [9] 邱星栋,黄 坤,陈彰兵,等. 甘醇脱水装置的HAZOP分析[J]. 天然气工业, 2016, 30(9):123-128.
- [9] QIU Xing-dong, HUANG Kun, CHEN Zhang-bing, et al. HAZOP analysis on a TEG dehydration unit: A case study [J]. Natural Gas Industry, 2016, 30(9):123-128. (in Chinese)
- [10] 吴世斌,林 宏,刘俊松,等. 浅谈白鹤滩大型水电工程施工本质安全管理实践[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(S2):139-143.
- [10] WU Shi-bin, LIN Hong, LIU Jun-song, et al. Discussion on the essential safety management practice for large hydropower project in Baihe Beach [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2017, 13(S2):139-143. (in Chinese)
- [11] 朱淑敏. 基于AHP和SCL的露天矿山爆破安全评价研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2014.
- [11] ZHU Shu-min. Research on safety evaluation of open-pit mine blasting based on AHP and SCL [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2014. (in Chinese)
- [12] 梁光川,何慧娟,何 莎,等. HAZOP技术在CNG储气井风险评价中的应用[J]. 石油与天然

- 气化工, 2015(1):99-102.
- [12] LIANG Guang-chuan, HE Hui-juan, HE Sha, et al. Application of HAZOP technology in risk assessment of CNG wells [J]. Chemical Engineering of Oil and Gas, 2015(1):99-102. (in Chinese)
- [13] 赖连明. 公路工程施工中的安全管理与风险控制研究[D]. 南京:东南大学, 2017.
- [14] LAI Lian-ming. Research on Safety Management and Risk Control in Highway Engineering Construction[D]. Nanjing:Southeast University, 2017. (in Chinese)
- [15] 王涛, 侯克鹏, 郭振世, 等. 层次分析法(AHP)在尾矿库安全运行分析中的应用[J]. 岩土力学, 2008, 29(S1):680-686.
- [15] WANG Tao, HOU Ke-peng, GUO Zhen-shi, et al. Application of analytic hierarchy process to tailings pond safety operation analysis [J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(S1):680-686. (in Chinese)
- [16] 刘淑金, 朱国庆, 张磊. 基于Mat lab层次分析法的建筑火灾人员安全疏散系统研究[J]. 安全与环境工程, 2014, 21(4):110-114.
- [16] LIU Shu-jin, NIU Guo-qing, ZHANG Lei. Research on the personnel evacuation system for building fire based on mat lab AHP [J]. Safety and Environmental Engineering, 2014, 21(4):110-114. (in Chinese)
- [17] 郭丽杰, 王楠, 康建新. 石化装置HAZOP节点重要度模糊综合评价研究[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(1):98-104.
- [17] GUO Li-jie, WANG Nan, KANG Jian-xin. Fuzzy comprehensive evaluation of HAZOP node importance for petrochemical plant [J]. China Safety Science Journal, 2015, 25(1):98-104. (in Chinese)
- [18] 王玉杰, 黄平路, 张惠聚. 台阶爆破作业安全的模糊评价[J]. 武汉理工大学学报, 2004(8):68-70, 73.
- [18] WANG Yu-jie, HUANG Ping-lu, ZHANG Hu-ju. Fuzzy Comprehensive Evaluation on the Safety of Soil and Rock Blasting [J] Journal of Wuhan University of Technology, 2004(8):68-70, 73. (in Chinese)
- [19] 王悦, 宋文华, 宋相杰, 等. 爆炸危险环境电气系统安全评价方法研究[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2016, 49(5):79-83.
- [19] WANG Yue, SONG Wen-hua, SONG Xiang-jie, et al. Study on safety evaluation method of electrical system in explosive atmospheres [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis, 2016, 49(5):79-83. (in Chinese)

英文编辑:任高峰

## 《爆破》论文网络首发及著作权使用声明

《爆破》为使录用论文首发权及时获得确认,自2019年12月起与中国知网合作启动“网络首发”在线优先数字出版项目,即《中国学术期刊(网络版)》(简称CAJ-N),统一连续出版物号ISSN 2096-418、CN 11-6037/Z。

作者稿件经审稿录用后,将会以“录用定稿”模式第一时间上传至中国知网“网络首发”平台发布。每篇网络首发论文均可下载一份“中国知网学术期刊网络首发论文出版证书”,其效力等同于纸质出版论文。

为避免出现一稿多投的现象,凡已投《爆破》的稿件,在未确认录用或退稿前,请勿再投他刊!

《爆破》为《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、《中文科技期刊数据库》、“万方数据——数字化期刊群”、维普网和超星学术期刊“域出版”平台收录期刊。本刊已许可上述机构以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。如有异议,请在投稿时说明,本刊将按作者说明处理。