

煤矿瓦斯爆炸风险的模糊数学评价

伍诺坦¹, 罗文柯^{1,2}, 汤霞芳^{1,2,3}

(1. 湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 煤矿安全开采湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201; 3. 湘潭市国土资源局, 湖南 湘潭 411201)

摘要:将模糊数学评价法运用于煤矿瓦斯爆炸灾难危害评价中,从第一类危险源、第二类危险源、第三类危险源的视角钻研,分析了对煤矿瓦斯爆炸影响主要要素,以白山坪煤矿采煤工作面瓦斯涌出的实际情况为例,进行了瓦斯爆炸灾难危害评价,得出了白山坪煤矿3个采煤工作面瓦斯爆炸风险顺序为 $1267 < 1263 < 1265$,验证了模糊数学评价运用于煤矿瓦斯爆炸危害评价的合理性.针对1267工作面没有达到“一般安全”的实际情况,提出了防治瓦斯爆炸事故的一些措施.

关键词:瓦斯爆炸; 风险评价; 模糊数学

中图分类号:TD76 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2015)02-0022-05

Fuzzy evaluation method based on coal mine gas explosion risk assessment

WU Nuotan¹, LUO Wenke^{1,2}, TANG Xiafang^{1,2,3}

(1. School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Hunan University of science and technology, Hunan Provincial Key Laboratory of Coal Mine Safety Mining, Xiangtan 411201, China;

3. Land and Resources Bureau of Xiangtan, Xiangtan 411201, China)

Abstract: This paper applies the fuzzy mathematics evaluation method to the evaluation of coal mine gas explosion disaster and harm. From the perspectives of the first risk sources, the second ones, and the third ones, this paper analyzes the main factors that affect coal mine gas explosion. According to the actual situations of Baishanping Coal Mine's coal working face gas emission for the gas explosion disaster evaluation, it gets the 3 coal working face's risk order of gas explosion in Baishanping Coal Mine, that is $1267 < 1263 < 1265$, which verifies the rationality of fuzzy mathematics evaluation method used in coal mine gas explosion hazard evaluation. In light with the 1267 working face which does not meet the "general safety", this paper puts forward some measures for preventing gas explosion from happening.

Key words: gas explosion; risk assessment; fuzzy mathematics

近几年来,我国煤矿各类灾难事故时有发生,如何保证煤矿安全生产成为当局和社会各界人士关注的重要内容.瓦斯爆炸目前是煤矿最大的灾祸之一,要想有效地监控瓦斯爆炸,就必须采取合适的评价方法来对煤矿瓦斯爆炸可能性的大小进行危险性评估.传统的评价方法是主要的故障树,专家评价方法,预先危险分析,安全检查表的方法,这些方法是主观的,而很少从气体爆炸危险性的角度来研究.因此,本文采用综合评价瓦斯爆炸危险源的模糊数学评价方法,尽可能排除了主观因素的影响,使评价结果更为客观.

收稿日期:2014-12-09

基金项目:湖南省科技厅计划一般资助项目(2012FJ4268)

通信作者:罗文柯(1963-),男,湖南邵阳人,博士,高级工程师,研究方向:矿山安全. E-mail: lwk-hnust@163.com

1 模糊数学综合评价的基本原理

目前人们对系统的安全评价的钻研越来越注重,安全管理的核心内容之一就是风险进行正确合理的评价.1965年在美国学者 L. A. Zadeh 创建的模糊集合理论,当前在不少方面获得了实用价值.由于导致某个事故发生的原因较多,其原因的本身有模糊的特征,因此采取模糊数学的办法来进行事故发生原因的评估,通过这些因素的影响程度进行量化来建立综合评价模型^[1,2],具体评价过程如下:

1)分析事故发生的各种要素并建立要素集 U . 根据这些要素属性的差异来将其分成几个子集 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$, 评价集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$.

2)将以上的几个子集 $U_k (k=1, 2, \dots, n)$ 来进行初级的评估,根据 $U_k = \{U_{k1}, U_{k2}, \dots, U_{kn}\}$ 各要素影响的大小来给予相应的权重 $A_k = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$;对 U_k 中的每个要素按照评价集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 的等级评定出 U_{kn} 对 v_n 的隶属度 $n_{kij} (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$, 由此可组成单要素评价矩阵 R_k , 则 U_k 的一级综合评价为 $B_k = A_k R_k = (b_{k1}, b_{k2}, \dots, b_{km})$.

3)对要素集 U 进行高级综合评价.把 U 中的 n 个要素子集 U_k 看成是要素集 U 的 n 个单要素,以各个分要素 U_k 在 U 中所占据影响度的多少来进行分配权重 A , 其中权重 A 的表达为: $A = (a_{k1}, a_{k2}, \dots, a_{kn})$, 然后根据各要素子集 U_k 的评价结果 B_k 得出总的评价矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}.$$

根据以上的分析可以得出 U 的综合评价计算公式为 $B = AR = A \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$.

2 煤矿瓦斯事故危险源风险预警的模糊数学评价

2.1 煤矿瓦斯爆炸事故要素集的确定

煤矿瓦斯事故受第一类危险源(固有危险源)、第二类危险源(引发危险源)、第三类危险源(人的要素)的影响,这些要素可分成3个层次的集合,经过实际的考察,结合之前已有的研究成果^[3,4],煤矿瓦斯事故危险源危害评价预警指标体系如表1所示(各个要素的确定主要是根据专业知识和现场经验).

表1 煤矿瓦斯事故危险源风险评价预警指标体系

第一类危险源 U_1 (固有危险源要素)	第二类危险源 U_2 (诱发危险源要素)	第三类危险源 U_3 (人的要素)
煤层瓦斯含量 u_{11}	通风系统 u_{21}	员工的技能和经验 u_{31}
煤层瓦斯涌出量 u_{12}	瓦斯抽放率 u_{22}	员工安全培训的全面性 u_{32}
煤层瓦斯压力 u_{13}	煤炭自然发火 u_{23}	员工对避灾的熟悉程度 u_{33}
风流瓦斯含量 u_{14}	煤层爆炸 u_{24}	管理者的监察力度 u_{34}
地址构造要素 u_{15}	设备的安全可靠性 u_{25}	规程标准化的执行水平 u_{35}

2.2 煤矿瓦斯爆炸风险预警模糊综合评价数学模型

煤矿瓦斯爆炸风险预警综合评估的方法和步骤主要有^[5]:

1)确定要素集.瓦斯爆炸事故影响因素受到来自第一类危险源、第二类危险源、第三类危险源要素的作用,将这些要素分成不同层次的集合.本文利用安全检查表和专家调查法来确定评价指标体系,第1层评价指标3个,第2层评价指标15个^[6](如表1所示).

2)建立评价集.评价集 $V = \{\text{特别不安全 } V_1, \text{很不安全 } V_2, \text{不安全 } V_3, \text{一般安全 } V_4, \text{较安全 } V_5, \text{非常安}\}$

全 V_6 }, 给出对应的分数为 $\{40, 50, 60, 70, 80, 90\}$, 由此可知, 评价分值与风险成反比, 分值越大表示越安全.

3) 建立权重集. 首先, 对不同大小的因素各水平的基础上, 分别对每个因素的权数与相应的综合评价, 进而影响煤矿瓦斯爆炸的重要性的各种因素, 即权重向量 A_i 根据实际问题的选择指标, 根据专家以及现场工程技术人员的打分, 再运用层次分析法对各指标权重来进行确定^[7].

4) 确定隶属度以及隶属函数. 隶属度主要是依据自身的经验然后做出适当的判断, 这样就避免不了主观性的存在. 因此更为客观准确地确定隶属度, 尽量减少评价过程中存在的误差, 多汲取一些专业人员的意见就显得比较重要^[8]. 同样, 确定隶属函数也是经验与主观性参半, 但在客观上具有一定的规律性, 根据模糊数学的相关理论的具体特点来分析, 总结人们在长期的生产实践中积累的宝贵经验, 允许存在一些技术上的分析, 但最终要符合客观实际的标准(本文隶属函数的确定参考了文献[9]的研究成果).

$$f_{11}(u_{11}) = \begin{cases} 1(90 \leq u_{11} \leq 100), \\ \frac{u_{11} - 80}{90 - 80}(80 \leq u_{11} < 90), \\ 0(u_{11} < 80); \end{cases} \quad f_{12}(u_{11}) = \begin{cases} \frac{100 - u_{11}}{100 - 90}(90 \leq u_{11} \leq 100), \\ 1(80 \leq u_{11} < 90), \\ \frac{u_{11} - 70}{80 - 70}(70 \leq u_{11} < 80), \\ 0; \end{cases}$$

$$f_{13}(u_{11}) = \begin{cases} 0(90 \leq u_{11} \leq 100), \\ \frac{90 - u_{11}}{90 - 80}(80 \leq u_{11} < 90), \\ 1(70 \leq u_{11} < 80), \\ \frac{u_{11} - 60}{70 - 60}(60 \leq u_{11} < 70), \\ 0(u_{11} < 60); \end{cases} \quad f_{14}(u_{11}) = \begin{cases} 0, \\ \frac{80 - u_{11}}{80 - 70}(70 \leq u_{11} < 80), \\ 1(60 \leq u_{11} < 70), \\ \frac{u_{11} - 50}{60 - 50}(50 \leq u_{11} < 60), \\ 0(u_{11} < 50); \end{cases}$$

$$f_{15}(u_{11}) = \begin{cases} 0(70 \leq u_{11} < 80), \\ \frac{70 - u_{11}}{70 - 60}(60 \leq u_{11} < 70), \\ 1, \\ \frac{u_{11} - 40}{50 - 40}(40 \leq u_{11} < 50); \end{cases} \quad f_{16}(u_{11}) = \begin{cases} 0(60 \leq u_{11} \leq 70), \\ \frac{60 - u_{11}}{60 - 50}(50 \leq u_{11} < 60), \\ 1(u_{11} < 50); \end{cases}$$

用隶属函数公式的专家评分法, 可以得到以下的结果:

$$r_{11} = f_{11}(u_{11}), r_{12} = f_{12}(u_{11}), \dots, r_{21} = f_{11}(u_{12}), r_{22} = f_{12}(u_{12}), \dots, r_{31} = f_{11}(u_{13}), r_{32} = f_{11}(u_{13}),$$

$$r_{32} = f_{12}(u_{13}), \dots, r_{61} = f_{11}(u_{16}), r_{62} = f_{12}(u_{16})$$

可得模糊关系矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{16} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{26} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{61} & r_{62} & \cdots & r_{66} \end{bmatrix}$$

3 模糊数学评价应用实例

3.1 白山坪煤矿基本情况

白山坪煤矿隶属于湖南省白山坪矿业有限公司, 位于湖南省耒阳市泗门洲镇境内. 白山坪煤矿瓦斯鉴定的等级从最近几年来观察都达到了煤与瓦斯突出矿井的条件. 白山坪矿井自开采以来煤和瓦斯突出的次数 47 倍之多, 煤层瓦斯压力大以及煤层中瓦斯的含量很高, 容易发生煤与瓦斯突出, 瓦斯爆炸, 火灾和其他事故.

3.2 评价结果

邀请 20 位现场生产技术管理人员及安全管理专家采用层次分析法确定各指标的权重,并对白山坪煤矿 1263,1265,1267 采煤工作面危险源预警评价指标分别进行评分,采煤工作面评分和指标权重评价结果如表 2 所示.

表 2 1267,1265,1263 采煤工作面模糊综合评价^[10,11]

类因素	权重 A	子因素	权重 A_k	各工作面专家评分值		
				1267	1265	1263
第一类危险源 (固有危险源因素)	0.20	煤层瓦斯含量 u_{11}	0.50	85	90	58
		煤层瓦斯涌出量 u_{12}	0.10	89	55	45
		煤层瓦斯压力 u_{13}	0.25	82	62	60
		风流瓦斯含量 u_{14}	0.05	80	75	65
		地质构造因素 u_{15}	0.10	75	58	50
第二类危险源 (诱发危险源因素)	0.25	通风系统 u_{21}	0.30	92	88	85
		瓦斯抽放率 u_{22}	0.40	83	85	77
		煤炭自然发火 u_{23}	0.20	70	75	75
		煤尘爆炸性 u_{24}	0.05	75	70	84
		机械设备安全可靠度 u_{25}	0.05	85	80	88
第三类危险源 (人的因素)	0.45	员工的技能和经验 u_{31}	0.10	80	82	85
		员工安全培训的全面性 u_{32}	0.15	70	75	80
		员工对避灾的熟悉程度 u_{33}	0.15	65	70	72
		管理者的监察力度 u_{34}	0.20	82	75	77
		规程标准化的执行水平 u_{35}	0.30	83	78	75

3.2.1 初级综合评价

根据表 1 专家评分值的模糊关系矩阵公式的隶属函数可以得到:

$$\begin{aligned}
 R_1^{(1267)} &= \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.9 & 1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 1 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 1 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}; & R_2^{(1267)} &= \begin{bmatrix} 1 & 0.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 1 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0.5 & 1 & 0.5 & 0 \\ 0.5 & 1 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \\
 R_3^{(1267)} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 1 & 0.5 \\ 0.2 & 1 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0.3 & 1 & 0.7 & 0 & 0 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

权重向量 $A = (0.20)$,由以上可知:

第一类危险源评估计算结果: $B_1^{1267} = A_1 R_1^{1267} = (0.390 \quad 0.950 \quad 0.610 \quad 0.050 \quad 0 \quad 0)$;

第二类危险源评估计算结果: $B_2^{1267} = A_2 R_2^{1267} = (0.605 \quad 0.715 \quad 0.395 \quad 0.225 \quad 0 \quad 0)$;

第三类危险源评估计算结果: $B_3^{1267} = A_3 R_3^{1267} = (0.130 \quad 0.600 \quad 0.695 \quad 0.300 \quad 0.075 \quad 0)$.

因此,1267 工作面的模糊关系矩阵为

$$R^{1267} = \begin{bmatrix} 0.195 \ 0 & 0.475 \ 0 & 0.305 & 0.025 \ 0 & 0 & 0 \\ 0.302 \ 5 & 0.357 \ 5 & 0.197 \ 5 & 0.112 \ 5 & 0 & 0 \\ 0.065 \ 0 & 0.300 \ 0 & 0.347 \ 5 & 0.150 \ 0 & 0.037 \ 5 & 0 \end{bmatrix}.$$

3.2.2 高级综合评价

按照权重 A 和以上分析计算的 1267 工作面瓦斯爆炸危险源危害评估成果为

$$B^{(1267)} = AR^{(1267)} = (0.150\ 4\ 0.349\ 4\ 0.301\ 5\ 0.115\ 6\ 0.020\ 6\ 0)$$

因为评价集 V 对应的分值为 40,50,60,70,80,90,所以 1267 采煤工作面瓦斯爆炸危险源危害评价成果有 $B^{(1267)}V = 68.559\ 0$.

同理,不难算出 1265 和 1263 这 2 个工作面可能发生瓦斯爆炸危险的评价成果为

$$B^{(1265)}V = 73.378\ 9 \text{ 和 } B^{(1263)}V = 71.210\ 4.$$

利用上述结果表明,瓦斯爆炸风险为 $1267 < 1263 < 1265$ 采煤工作面. 1263 和 1265 采煤工作面瓦斯爆炸危险源危害评价成果大于 70,达到了一般安全的程度. 1267 采煤工作面瓦斯爆炸危险评估的结果是低于 70,为“不安全”. 一般来说,若最后评价的分数低于 70 也就是结果为“一般安全”以下的话,可以认为采煤工作面瓦斯爆炸事故危险源的风险程度较大,需要尽快整顿达到“一般安全”等级及以上,方能进行后续的生产.

3.3 瓦斯爆炸事故预防措施

本文基于模糊数学评价法对白山坪煤矿 3 个采煤工作面的瓦斯爆炸危险性进行了评价,1267 的评价结果为“不安全”,瓦斯爆炸事故发生的可能性较大,笔者认为,可以采取如下措施来控制瓦斯爆炸事故危险源:(1)在 1267 采煤工作面开采前要进行瓦斯预抽,尽量降低煤层瓦斯含量;(2)增强 1267 采煤工作面通风体系和掘进工作面的局部透风的管理力度,防止瓦斯积聚现象的发生;(3)加强对 1267 工作面火源的管理,防止火源与瓦斯积聚在同一时间同一地点出现,比如在放炮前首先对瓦斯浓度进行检测,采用风电闭锁、瓦斯电闭锁等措施来防止瓦斯超限.

4 结论

1)根据三类危险源的相关理论,构建了煤矿瓦斯爆炸风险评价和预警的理论体系.同时,应用模糊数学方法和层次分析法来评价煤矿瓦斯爆炸事故的原因以及确定了各个指标所占权重的大小.

2)对于煤矿瓦斯爆炸风险的评价,可采取把一些指标量化的方式有效地避免了决策主观性和片面性,有利于进行煤矿瓦斯爆炸事故危险源的科学预测.

3)模糊数学评价的研究,加强了危险源管理的水平,促使煤矿安全的管理从事后阐发型向事先防备型方向改变和减少矿井安全事故发生率有着十分重要的参考和借鉴意义.

参考文献:

- [1] 杨伦标,高英仪.模糊数学原理及应用[M].广州:华南理工大学出版社,1995.
- [2] 王魁军,曹林.我国煤矿瓦斯灾害事故频发的原因分析[J].中国煤炭,2003,29(7):9-11.
- [3] 曹树刚,王艳平.基于危险源理论的煤矿瓦斯爆炸风险评价模型[J].煤炭学报,2006,33(4):471-473.
- [4] 孙斌.基于危险源理论的煤矿瓦斯事故风险评价研究[D].西安:西安科技大学,2003:39-41.
- [5] 钟茂华,温丽敏,刘铁民,等.关于危险源分类与分级探讨[J].中国安全科学学报,2003,13(6):18-20.
- [6] 田水承,李华,陈勇刚.基于神经网络的掘进面瓦斯爆炸危险源安全评价[J].煤田地质与勘探,2005,33(3):19-21.
- [7] 张甫仁,景国勋.矿山重大危险源评价及瓦斯爆炸事故伤害模型建立的若干研究[J].工业安全与环保,2002(1):42-45.
- [8] 王文超.煤矿瓦斯风险评价与案例分析[J].煤矿开采,2006(1):11-13.
- [9] 闵凡飞,许俊杰,扬晓鸿.多层次模糊综合评判在选煤工艺流程选择中的应用[J].煤炭学报,2002,27(2):201-205.
- [10] 王轩.煤矿瓦斯概率风险评价方法研究[J].中国煤炭,2011(10):96-98.
- [11] 田水承,李红霞,王莉,等.从三类危险源理论看煤矿事故的频发[J].中国安全科学学报,2007(1):10-15.