

文章编号:1671-251X(2015)04-0048-04 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.04.013
疏礼春.煤矿瓦斯灾害危险性评价方法研究[J].工矿自动化,2015,41(4):48-51.

煤矿瓦斯灾害危险性评价方法研究

疏礼春

(中煤科工集团煤炭科学技术研究院有限公司 装备分院,北京 100013)

摘要:针对瓦斯灾害对煤矿安全生产造成严重危害的问题,通过应用层次分析法确立了瓦斯灾害评价指标体系的4个层次及其影响因素和权重,建立了瓦斯事故的灾害评价模型;提出了影响瓦斯灾害的4个主要因素及3个后果严重性指标,并基于层次分析法对这些因素的量化方法及影响权重进行了研究,从而定量地揭示出瓦斯灾害的主要原因,对防止煤矿瓦斯事故的发生具有重要意义。

关键词:瓦斯灾害;层次分析法;分级评价;评价模型;评价指标体系

中图分类号:TD712.5 文献标志码:A 网络出版时间:2015-03-31 08:35

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150331.0835.013.html>

Research of coal mine gas disaster risk evaluation method

SHU Lichun

(Branch of Mine Safety Equipment Technology, CCTEG China Coal Research Institute,
Beijing 100013, China)

Abstract:In view of problem that gas disaster causes serious hazards to coal mine production safety, four levels and influence factors and their weights of gas disaster evaluation index system were established by applying analytic hierarchy process, and disaster evaluation model was set up. Four main factors affecting gas disaster and three consequences severity index were proposed, and quantitative method and weights of these factors were studied based on the analytic hierarchy process, so as to quantitatively reveal main causes of gas disaster. The method has great significance to prevent occurrence of coal mine gas accident.

Key words:gas disaster; analytic hierarchy process; grading evaluation; evaluation model; evaluation index system

0 引言

我国90%以上的煤矿为井工矿井,井下环境复杂,灾害类型众多,其中瓦斯爆炸具有破坏性强、经济损失大、人员伤亡多等特点,对煤矿安全生产造成严重危害,引起社会强烈反响^[1]。通过对煤矿瓦斯灾害进行评价论述,得出煤矿瓦斯灾害的等级,从而可采取一定的控制措施。目前已有相关研究对瓦斯爆炸危险性进行评价^[2-5],但涉及的评价指标较少,不够全面。本文着重对影响瓦斯灾害的因素及危险

性评价方法进行研究。

1 层次分析法的步骤

层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)是一种将定量与定性相结合的系统化、结构化的权重计算方法,它将评价目标分为若干层次和若干指标,依照不同权重进行综合评价。其优越之处在于综合考虑评价指标体系中各层因素的重要程度,能够很好地反映事故各诱发因素的层次和相互逻辑关系,从而使各指标权重设置趋于合理。

收稿日期:2014-09-15;修回日期:2015-01-10;责任编辑:胡娴。

基金项目:中国煤炭科工集团有限公司重点基金资助项目(2013ZD010)。

作者简介:疏礼春(1981—),男,安徽安庆人,工程师,硕士,主要从事煤矿信息化类软件的设计工作,E-mail:shulichun@ccrise.cn。

层次分析法步骤:① 确定评价因素集并建立目标函数;② 确定因素评价矩阵;③ 采用特征向量法由因素评价矩阵求解指标权重;④ 根据指标的量纲归一值和对应的权重值按照目标函数进行评价计算;⑤ 根据计算结果进行相关评价。

2 分级评价指标体系的确定

事故发生可能性和后果严重程度是表征风险的两大因素。因此,在进行煤矿瓦斯灾害分级评价时,

可通过对影响瓦斯灾害的内因和外因进行分析与综合,并将其定量化,将瓦斯灾害事故发生可能性指标与后果严重性指标之积作为危险性分级评价的评定值。

煤矿生产系统本身具有模糊性,导致瓦斯灾害的众多因素同样具有很强的模糊性。本文提出瓦斯灾害危险性分级评价指标的4个层次及其影响因素,包括目标层(第1层)、子目标层(第2层)、中间层(第3层)和因素层(第4层),如图1所示。

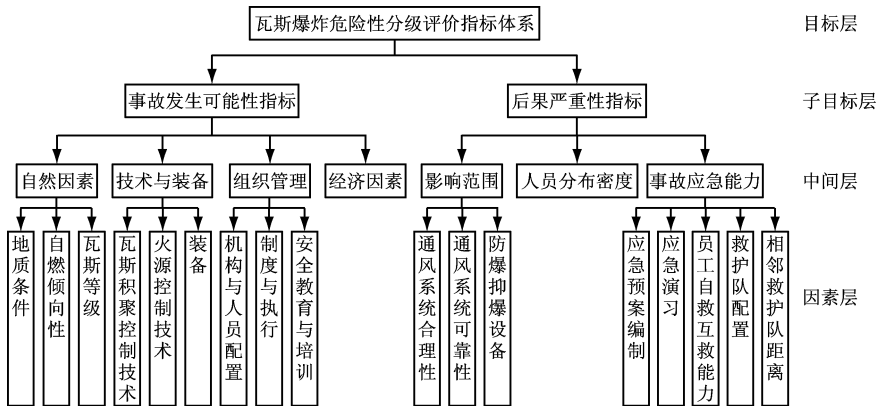


图1 瓦斯灾害危险性分级评价指标纵向分层

3 评价指标量化

考虑到煤矿生产是一个集地质条件、采矿技术、生产装备、人员管理等诸多因素共存的庞大复杂系统,各影响因素权重的客观确定仍很困难,专家的主观判断更加贴近于煤矿安全的实际状况,因此,采用基于专家判断的层次分析法确定各级指标的权重。

3.1 指标权重的计算

煤矿瓦斯灾害危险性分级评价指标体系各级指标权重主要是根据相关专家填写的《煤矿瓦斯灾害事故评价指标体系分级指标权重确定表》来确定的,调查表按照层次分析法的要求设计。

通过统计、整理、分析调查结果,求解指标权重,并进行一致性检验,最终得到合理的指标权重。

3.2 评价模型和指标的量化

煤矿瓦斯灾害危险性分级评价受2个方面因素的影响,即煤矿瓦斯灾害发生的可能性及后果严重性指标,可用式(1)表示:

瓦斯灾害危险性分级综合指标 =

事故发生可能性指标 × 后果严重性指标 (1)

瓦斯灾害危险性分级综合指标 A 可用式(2)计算:

A = 100B₁B₂ (2)

式中:B₁为瓦斯灾害可能性指标;B₂为瓦斯灾害事故严重性指标。

3.3 瓦斯灾害可能性指标计算

采用式(3)计算瓦斯灾害发生的可能性 B₁:

B₁ = C₁(λ₂C₂ + λ₃C₃ + λ₄C₄) (3)

式中:C₁为自然因素指标;λ₂为技术及装备因素权重,取0.50;C₂为技术及装备因素指标;λ₃为组织管理因素权重,取0.25;C₃为组织管理因素指标;λ₄为经济因素权重,取0.25;C₄为经济因素指标。

指标 C₁, C₂, C₃ 和 C₄ (矿井原煤单位产量安全提取费用)的权重及量化方法分别见表1—表4。

表1 自然因素指标权重及量化方法

指标及其权重 k _i	指标量化方法(x _i 为量化值)
地质条件 k ₁ =0.30	x ₁ 取值:简单取0.8,中等取0.9,复杂取0.95,极复杂取1。
自燃倾向性 k ₂ =0.16	x ₂ 取值:不易自燃取0.8,一般性自燃取0.9,容易自燃取1。
瓦斯等级 k ₃ =0.54	x ₃ 取值:低瓦斯取0.9,高瓦斯取0.95,煤与瓦斯突出取1。

自然因素指标 C₁ 计算公式:

C₁ = ∑_i (k_ix_i) (4)

技术及装备因素指标 C₂ 计算公式:

C₂ = ∑_i (m_i ∑_j m_{ij}y_{ij}) (5)

组织管理因素指标 C₃ 计算公式:

表 2 技术及装备因素指标权重及量化方法

指标、子指标 及其权重 m_i, m_{ij}		指标量化方法 (y_{ij} 为量化值)
瓦斯积聚 控制技术 $m_1=0.41$	采煤工艺 $m_{11}=0.16$	y_{11} 取值:综采取 0.8,普采取 0.9,炮采取 1。
	通风 供需比 $m_{12}=0.54$	y_{12} 取值:满足要求取 0.8,不满足要求取 1。
	瓦斯抽放 $m_{13}=0.30$	y_{13} 取值:低瓦斯矿井取 0,高瓦斯矿井按如下公式计算(η_1 为瓦斯抽采率): $y_{13} = \begin{cases} 0.8, & \eta_1 \geq 45\% \\ (29-20\eta_1)/25, & 20\% \leq \eta_1 \leq 45\% \\ 1, & \eta_1 \leq 20\% \end{cases}$
	放炮 $m_{21}=0.16$	y_{21} 取值:按规程执行取 0.8,未按规程执行取 1。
火源控制 技术 $m_2=0.26$	静电 $m_{22}=0.07$	y_{22} 取值:无化纤衣料且风筒抗静电取 0.8,有化纤衣料或风筒不抗静电取 0.8。
	火工品 $m_{23}=0.24$	y_{23} 取值:管理完善取 0.8,管理差取 1。
	撞击 $m_{24}=0.14$	y_{24} 取值:无违章撞击取 0.8,存在违章撞击取 1。
	电气焊 $m_{25}=0.13$	y_{25} 取值:井下存在电气焊作业取 1,不存在取 0.8。
装备 $m_3=0.33$	防雷击 $m_{26}=0.07$	y_{26} 取值:有防雷击监测报告取 0.8,无防雷击监测报告取 1。
	主要通风机 $m_{31}=0.33$	y_{31} 取值:存在年度无计划停风取 1,不存在年度无计划停风取 0.8。
	掘进安全技术装备 $m_{32}=0.20$	y_{32} 取值:掘进安全技术装备齐全取 0.8,掘进安全技术装备不齐全取 1。
	通风构筑物 $m_{33}=0.20$	y_{33} 取值:通风构筑物合理有效设置取 0.8,通风构筑物未合理有效设置取 1。
	瓦斯监测 监控 $m_{34}=0.07$	y_{34} 取值:有监测系统且运行良好取 0.8,有监测系统且运行一般取 0.85,有监测系统且运行差取 0.95,无监测系统取 1。
	电气设备 状况 $m_{35}=0.20$	y_{35} 取值:电气设备运行很好取 0.8,运行好取 0.85,运行一般取 0.9,运行差取 0.95,运行很差取 1。

表 3 组织管理因素指标权重及量化方法

指标、子指标 及其权重 d_i, d_{ij}		指标量化方法 (z_{ij} 为量化值)
机构及 人员配置 $d_1=0.23$	专职管理机构 $d_{11}=0.45$	z_{11} 取值:有专职安全管理机构取 0.9,无取 1。
	第一责任人安全意识 $d_{12}=0.32$	z_{12} 取值:安全意识很强取 0.8,强取 0.85,一般取 0.9,差取 0.95,很差取 0.98。
	安管人员比例 $d_{13}=0.14$	$z_{13} = \begin{cases} 0.8, & \eta_2 > 3\% \\ 1.04-8\eta_2, & 0.5\% < \eta_2 \leq 3\% \\ 1, & \eta_2 \leq 0.5\% \end{cases}$ 其中: η_2 为从事矿井安全管理工作职工人数与矿井职工总人数之比。
	安管人员素质 $d_{14}=0.09$	$z_{14} = \begin{cases} 0.8, & \eta_3 > 40\% \\ 1.2-\eta_3, & 20\% < \eta_3 \leq 40\% \\ 1, & \eta_3 \leq 20\% \end{cases}$ 其中: η_3 为学历为高中程度的职工人数与矿井职工总人数之比。
制度及执行 $d_2=0.65$	安全管理制度 $d_{21}=0.13$	z_{21} 取值:安全管理制度齐全取 0.8,较全取 0.85,一般取 0.9,较缺取 0.95,很缺取 1。
	安全责任制 $d_{22}=0.13$	z_{22} 取值:安全责任制齐全取 0.8,较全取 0.85,一般取 0.9,较缺取 0.95,很缺取 1。
	作业规程制定 $d_{23}=0.24$	z_{23} 取值:作业规程齐全取 0.8,较全取 0.85,一般取 0.9,较缺取 0.95,很缺取 1。
	制度执行情况 $d_{24}=0.50$	z_{24} 取值:制度执行很好取 0.8,执行好取 0.85,执行一般取 0.9,执行差取 0.95,执行很差取 1。
安全教育与培 训 $d_3=0.12$	一般职工平均培训次数 $d_{31}=0.30$	$z_{31} = \begin{cases} 1-n_1/120, & n_1 \leq 24 \\ 0.8, & n_1 > 24 \end{cases}$ 其中: n_1 为一般职工实际培训次数。
	安管人员平均培训次数 $d_{32}=0.16$	$z_{32} = \begin{cases} 1-n_2/180, & n_2 \leq 36 \\ 0.8, & n_2 > 36 \end{cases}$ 其中: n_2 为安管人员实际培训次数。
	持证上岗率 $d_{33}=0.54$	z_{33} 取值:按要求全部持证上岗取 0.8,未按要求全部持证上岗取 1。

$$C_3 = \sum_i (d_i \sum_j d_{ij} z_{ij}) \tag{6}$$

经济因素指标 C_4 计算公式:

$$C_4 = \sum (f_i s_i) \tag{7}$$

3.4 瓦斯灾害后果严重性指标计算

瓦斯灾害后果严重性的影响因素包括影响范

表4 经济因素指标权重及量化方法

指标及其权重 f_i	指标量化方法 (s_i 为量化值)
经济因素 $f_1=0.25$	s_1 取值:对于高瓦斯矿井和突出矿井,采用如下公式计算(T 为矿井原煤单位产量安全提取费用,元):
	$s_1 = \begin{cases} 0.8, & T \geq 30 \\ (150-T)/150, & 0 \leq T < 30 \end{cases}$
	对于低瓦斯矿井,采用如下公式:
	$s_1 = \begin{cases} 0.8, & T \geq 15 \\ (150-2T)/150, & 0 \leq T < 15 \end{cases}$

围、人员分布密度和事故应急能力。爆炸影响范围及其范围内的人员分布密度客观上决定了可能造成人员伤亡的严重程度,而人员自救互救能力和矿井的救援能力作为补偿因素对最终的伤亡情况起着不可忽视的作用。瓦斯灾害后果严重性指标权重及量化方法见表5。

表5 瓦斯灾害后果严重性指标权重及量化方法

指标、子指标及其权重 p_i, p_{ij}	指标量化方法 t_{ij}
通风系统的合理性 $p_{51}=0.58$	t_{51} 取值:非常合理取0.8,合理取0.9,不合理取1。
影响范围 $\lambda_5=0.32$	通风系统的可靠性 $p_{52}=0.31$ t_{52} 取值:非常可靠取0.8,可靠取0.9,不可靠取1。
	隔爆、抑爆设备 $p_{53}=0.11$ t_{53} 取值:达标取0.8,未达标取1。
人员分布密度 $\lambda_6=0.56$	$t_6 = \begin{cases} \eta_i/150, & \eta_i < 150 \\ 1, & \eta_i \geq 150 \end{cases}$ 其中: η_i 为井下平均作业人数/工作面个数。
应急预案编制 $p_{71}=0.14$	t_{71} 取值:有预案取0.8,无预案取1。
应急演练 $p_{72}=0.09$	t_{72} 取值:有演习取0.8,无演习取1。
员工自救互救能力 $p_{73}=0.07$	t_{73} 取值:能力很强取0.8,强取0.85,一般取0.9,差取0.95,很差取0.98。
事故应急能力 $\lambda_7=0.12$	救护队配置 $p_{74}=0.43$ t_{74} 取值:配置好取0.8,一般取0.9,差取0.98,无取1。
	相邻救护队距离 $p_{75}=0.27$ $t_{75} = \begin{cases} 0.8+0.02S, & S < 10 \\ 1, & S \geq 10 \end{cases}$ 其中: S 为相邻救护队的实际距离。

瓦斯灾害后果严重性 B_2 的计算公式为

$$B_2 = \lambda_5 C_5 + \lambda_6 C_6 + \lambda_7 C_7$$

(8)

式中: λ_5 为影响范围权重,取0.32; C_5 为影响范围因素指标; λ_6 为人员分布密度因素权重,取0.56; C_6 为人员分布密度因素指标; λ_7 为事故应急因素权重,取0.12; C_7 为事故应急因素指标。

由式(8)和表5可得

$$B_2 = \sum_i \lambda_i (\sum_j p_{ij} t_{ij})$$

(9)

4 评价结果

煤矿瓦斯灾害危险性分级按20为1个级别,共5级,即Ⅰ—Ⅴ级,见表6。

表6 瓦斯灾害危险性安全分级表

综合指标值 A	级别	安全状况
0~20	Ⅰ	安全
20~40	Ⅱ	基本安全
40~60	Ⅲ	危险
60~80	Ⅳ	高度危险
80~100	Ⅴ	极度危险

5 结语

应用层次分析法建立煤矿瓦斯灾害危险性综合评价模型,较好地保证了评价指标权重系数的客观性和准确性。进行煤矿瓦斯灾害危险性评价的重要前提是确定科学合理的评价指标体系,但目前煤矿瓦斯灾害评价指标仍没有统一的划分标准,对于本文中提出的评价指标体系,还可以进行进一步的探讨。另外,各指标的权重值也是影响评价结果的重要因素之一,故对各指标权重的取值范围也可以进行探讨。本文列出的指标都有具体的存在依据,是国内煤炭行业经常使用的定性、定量指标,这些指标不受地区、企业性质、矿井规模等限制。

参考文献:

[1] 李润求,施式亮,念其锋,等.近10年我国煤矿瓦斯灾害事故规律研究[J].中国安全科学学报,2011,21(9):143-151.

[2] 林柏泉,钱立平,翟成.矿井瓦斯爆炸危险性分析评价系统[J].中国煤炭,2003,29(7):12-15.

[3] 宋士学,曹庆贵,林乐顺.基于AHP和模糊数学的煤矿瓦斯爆炸危险性评价及应用[J].工业安全与环保,2006,32(6):57-59.

[4] 施式亮,李润求.煤矿瓦斯爆炸事故演化危险性评价的AHP-GT模型及应用[J].煤炭学报,2010,35(7):1137-1141.

[5] 王世鹏.煤矿瓦斯爆炸事故鱼刺图分析[J].煤矿安全,2011,42(2):113-116.

[6] 王树玉.煤矿五大灾害事故分析和防治对策[M].徐州:中国矿业大学出版社,2006.

[7] 孙宏才,田平.网络层次分析法与决策科学[M].北京:国防工业出版社,2011.

[8] 梁保松,曹殿立.模糊数学及其应用[M].北京:科学出版社,2007.