

*Kuangshan Shigu
Chuzhi Jishu Yu Yingji
Guanli Yanjiu*

矿山事故处置技术 与应急管理研究

郭德勇 杜 波 主编



煤炭工业出版社

矿山事故处置技术与应急 管 理 研 究

郭德勇 杜 波 主编



煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山事故处置技术与应急管理研究 / 郭德勇, 杜波
主编. --北京: 煤炭工业出版社, 2018
ISBN 978-7-5020-6876-9

I. ①矿… II. ①郭… ②杜… III. ①矿山事故—
事故处理—研究 IV. ①TD77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 209021 号

矿山事故处置技术与应急管理研究

主 编 郭德勇 杜 波
责任编辑 李振祥 肖 力
责任校对 孔青青
封面设计 安德馨

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室) 010-84657880 (读者服务部)
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京建宏印刷有限公司
经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 20¹/₄ 字数 479 千字
版 次 2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷
社内编号 20181270 定价 90.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

内 容 简 介

本书收录了我国矿山事故处置技术与应急管理研究及工程应用方面的论文 50 篇, 论文主要来自国家应急管理部安全生产应急救援指挥中心、相关院校、矿山救护队及矿山企业等单位, 是我国目前矿山事故处置技术与应急管理专题研究部分工作的总结, 同时也反映了我国矿山事故处置技术与应急管理研究及应用方面的新进展。

全书共包括矿山事故处置技术、应急管理两部分, 可供从事矿山救护、应急救援、煤矿安全、安全工程及应急管理等专业的高新技术和管理人员及相关专业院校的师生阅读与参考。

前 言

中国煤炭工业安全科学技术学会矿山救护专业委员会（原中国煤炭工业劳动保护科学技术学会矿山救护专业委员会）自1985年成立以来，积极组织本专业的技术交流和各项学术活动，不断推动矿山应急救援学科的创新和发展，为我国煤炭工业的安全生产和科技进步做出了重要贡献。

按照中国煤炭工业安全科学技术学会矿山救护专业委员会第八届矿山救护专业委员会的工作计划，今年将召开第八届矿山救护专业委员会第三次全国矿山救护学术年会。为推进我国矿山应急救援专业的建设与发展，加强矿山事故应急处置技术和应急管理领域的研究，中国煤炭工业安全科学技术学会矿山救护专业委员会积极组织由国家应急管理部安全生产应急救援指挥中心、相关院校、矿山救护队及矿山企业等单位相关专家技术人员，对我国矿山事故处置技术与应急管理问题的研究及应用成果进行总结，我们从全国各地寄来的有关事故处置技术、应急管理方面的论文中精选了50篇优秀论文，编辑出版了这本《矿山事故处置技术与应急管理研究》一书。

本书中的论文涵盖了矿山事故处置技术与应急管理两个方面研究工作，为了方便阅读和参考，我们将论文分为矿山事故处置技术、应急管理两部分内容，这些论文反映了我国矿山事故处置技术与应急管理研究的新成果，可供从事矿山救护、应急救援、煤矿安全、安全工程及应急管理专业的科研、教学及工程技术人员参考。希望这本书对矿山应急救援技术与应急管理等相关知识的普及与应用和研究工作有所帮助。

《矿山事故处置技术与应急管理研究》一书由郭德勇、杜波主编，中国矿业大学（北京）姜锡慧讲师、原博研究生等对部分论文的初稿进行了细致的审阅，国家自然科学基金重点项目（U1704242）对本书的出版给予了资助，在此深表感谢！

由于时间紧及我们编辑人员水平所限，本书定有不足之处，敬请读者批评指正，以便我们在之后的工作中逐步改进和提高。

中国煤炭工业安全科学技术学会
矿山救护专业委员会

2018年9月

目次

矿山事故处置技术研究

基于相似信息的煤矿瓦斯爆炸事故应急处置方法

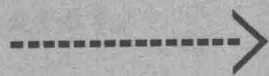
研究	杜波 李清鹏 汪洪奎 (3)
煤矿瓦斯事故初期控制系统问题探讨	白恒周 郑铁龙 (11)
矿井透水事故应急处置技术探讨	王立兵 陈强盛 (17)
煤矿外因火灾事故应急处置技术研究	张长合 (23)
煤与瓦斯突出事故应急处置技术探讨	李书文 王冕 (29)
煤与瓦斯突出矿井火灾事故应急处理技术研究	别小飞 董永利 张清宣 (35)
应急预案在煤与瓦斯突出事故应急处置中的作用	朱同功 (42)
煤矿灾区远程气样采集装置开发及应用	高士伟 刘涛 王辉 (48)
隧道事故应急处置技术及对策研究	王一 李柱 郭书明等 (55)
采煤工作面火灾应急处置技术探讨	刘威 刘志强 (61)
煤矿火灾期间发生瓦斯爆炸事故的处置技术探讨	刘平治 (67)
大柳塔煤矿夏季“三防”事故应急处置技术研究	陈苏社 吴颖龙 (73)
无人机在露天矿山应急救援中的应用探讨	蒋仲安 温昊峰 陈记合 (80)
煤矿瓦斯爆炸事故应急处置技术探讨	张江石 冯娜娜 郝红宇 (85)
大柳塔煤矿水灾事故应急处置系统分析	吴颖龙 郭德勇 (91)
应急预案在煤与瓦斯突出事故救援中的应用	王正建 吴国华 (98)
光纤收发器与 KJ30 救灾无线通信系统组合应用研究	魏云波 (103)
水化学分析在煤矿突水事故救援中的应用	王峻莺 钱建兵 (110)
矿井地面储煤仓瓦斯燃烧事故防治及处置技术研究	刘强 王彦凯 (116)
煤矿独头巷道火灾事故处置技术探讨	曾凡付 (123)
矿山事故救援处理模板的设计与应用	王勇 刘庆普 黄军伟等 (130)
Agilent490 型色谱仪预热时间与响应值的关联性	
分析	陈新宇 张文明 (136)
矿用液态二氧化碳在火灾事故处置中的应用探讨	王志广 (142)
复杂环境综采工作面火灾事故处置技术研究	许汝涛 杨伟 郑国清 (148)
瓦斯燃烧事故应急处置技术分析	王鹏 郭景林 (154)
煤矿独头巷道火灾事故处理方法探讨	张坤 (159)
国内外矿山救援生命通道构建技术研究现状	孙红波 杨涛 (165)

应急管理研究

煤矿事故抢险救援“三五九”工作法研究	李 勇	(173)
基于宏观视角的煤矿应急管理工作探讨	姜传胜	(179)
煤矿事故应急处置决策理论探讨	姬超文 高士伟	(184)
煤矿安全管理信息系统预警机制研究	汪 莹	(191)
应急救援风险预控管理体系研究	刘贵文 王志广	(199)
基于 SCCT 的我国煤矿企业危机传播策略研究	谢起慧	(205)
新形势下煤矿企业专职救护队职能研究	李 军 宋进臣	(213)
矿井排水应急救援轻型高机动装备发展趋势	唐 兵	(219)
煤矿安全生产中矿山救护和矿区消防整合的探讨	郝圣艾 白 冰	(224)
基于监控的煤与瓦斯突出预警系统研究现状分析	姜锡慧	(230)
新安煤矿突发事件应急管理策略研究	王 冕 王念红	(237)
基于 GIS 的煤与瓦斯突出事故应急辅助决策系统	王 超 郭德勇 胡殿明	(243)
安阳鑫龙煤业救护队管理模式研究	甘信锋	(248)
企业文化在矿山救护队管理中的作用探讨	刘大海	(253)
煤矿应急救援能力评价方法研究	高荣翔 曹庆贵 王建胜	(258)
矿山救援技术比武在队伍管理中的作用研究	秦伟峰 杨 攀	(265)
矿山救护队训练与管理问题探讨	张 洋 王 刚 王 勇	(271)
矿山救援队伍精细化管理制度的建立及应用	刘庆普 王 勇 赵生文 等	(278)
“互联网+”矿山应急救援培训系统应用探析	周利侠 陈 浩	(284)
矿山救护队管理在提升应急救援能力中的作用	廖宏英 苟 忠 郑国清	(290)
提高救护队员心理素质的技术途径探讨	王庆良	(295)
煤矿事故救援中救护队员伤亡原因及对策探讨	刘 爽 原 博	(301)
通过加强管理来提升煤矿应急救援能力的实践	许荣旺	(308)
后记		(314)

矿山事故处置技术与应急管理研究

矿山事故处置 技术研究



基于相似信息的煤矿瓦斯爆炸事故应急处置方法研究

杜 波^{1,2} 李清鹏¹ 汪洪奎^{1,2}

[1. 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083;

2. 中国平煤神马集团救护大队, 河南 平顶山 467000]

摘 要 在分析瓦斯爆炸事故应急处置特点的基础上, 将相似信息方法应用于应急处置过程, 构建了瓦斯爆炸事故应急救援影响因素的二级指标体系, 并筛除部分冗余特征属性。对事故关键信息进行相似度计算, 选取相似度最高的事故参考以往经验和教训制定出适合当前状况的最优解决方案, 提高了事故的应急处置效率。

关键词 煤矿 瓦斯爆炸 应急处置 相似信息

1 引言

随着国家科技进步及对煤炭行业投入的增加, 我国煤矿安全生产状况有了很大好转, 但煤矿事故突发现象还没得到根本控制, 其中瓦斯爆炸是煤矿的主要灾害之一, 一旦发生瓦斯爆炸事故将导致大量的人员伤亡和财产损失^[1,2]。

研究资料表明^[3], 采取有效的应急救援措施可以将事故损失减少到不采取应急措施情况下的6%。瓦斯爆炸事故发生后, 应急救援应随着井下环境改变及时调整应急处置措施, 以有效提高对事故后果的控制能力, 但由于瓦斯爆炸事故应急处置过程中存在多种突发事件且救援人员对事故发生后耦合场景认识的局限性, 在处理事故时可能出现处置措施重复或工作逻辑不清晰的情况^[4-7]。而且当前形势下应急处置方案主要由专家根据现场情况判断分析得出, 受个人情绪影响, 事故处置方案并不一定能最优地解决面临的问题^[8]。

研究相似信息在瓦斯爆炸事故应急处置过程中的应用, 将事故相似信息与人工智能相结合^[9,10], 确定合理的事故特征属性, 提取最相似事故救援经验教训, 以辅助制定最优的应急处置方案, 避免救援人员自身伤亡, 从而提高应急处置效率, 将灾害损失控制在最低水平。

2 瓦斯爆炸事故应急处置分析

2.1 事故应急处置时序特征

应急处置是应急主体通过一系列行动进行自身救助与事故状态控制的应对过程, 如图1所示。瓦斯爆炸是致灾危险源通过长时间积累或者被某一特定因素触发而产生的事故形态, 会对井下人员造成巨大危害。应急处置过程则是应急主体通过各种方式、方法对井下

状况及其影响情况进行分析, 进而根据分析结果对事件进行一系列的控制。应急主体采取的措施会改变事件的属性状态, 也可能产生新的事件, 即次生衍生事件, 造成火灾扩大或二次爆炸事故。

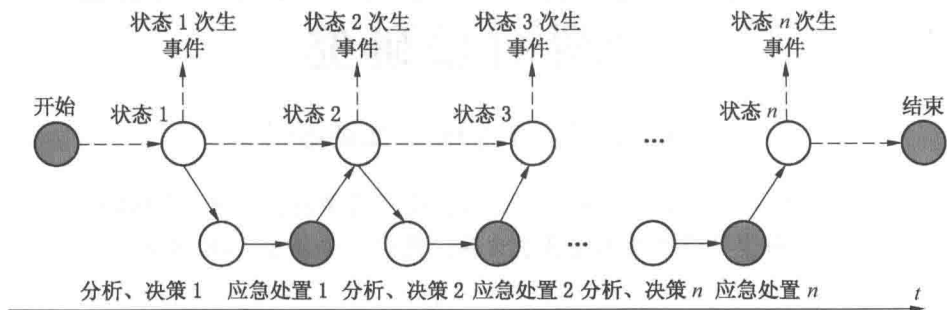


图1 瓦斯爆炸应急处置时序模型

2.2 应急处置信息传导

应急处置流程的主要工作是通过对信息的传递和加工来完成的, 信息是处置中出现问题的主要载体。瓦斯爆炸事故发生后, 应急主体在实施救援的过程中存在一定的信息交互, 此时既要注意应急处置流程中节点信息的处理能力, 更要关注处置过程中的风险传导问题。可将应急处置过程中的信息传导分为以下两种类型:

2.2.1 基于应急处置主体的信息传导

将信息传递分为三类: 受灾人员与救护队员之间的信息传递、受灾人员与决策指挥人员之间的信息传递、救护队员与决策指挥人员之间的信息传递, 如图2所示。



图2 应急处置主体信息传递方式

2.2.2 基于处置工序的信息传导

瓦斯爆炸应急处置过程是一系列处置工序的集合, 按照时序状态可分为串联工序和并联工序。应急处置启动过程中, 信息的上传下达是及时掌握井下状况的关键, 侦察、反馈、决策、断电、恢复通风等处置工序都按照一定的先后顺序展开, 以上处置内容属于串联工序。一般情形下两串联工序信息的传导情况如图3所示。信息处理以及工序执行过后出现场景A的状况。

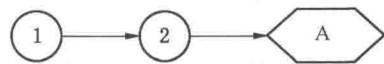


图3 串联工序信息传导图

瓦斯爆炸应急处置初期阶段, 专家支持系统、监测监控系统、医疗准备、资源调配等工序的展开是同时进行的, 属于并联工序, 并联工序的信息传递存在耦合情形。工序1和

工序 2 会将处置状态同时传递给工序 3，工序 3 在对前置工序进行检查、加工的基础上输出下条处置内容。并联工序下信息的传导情况如图 4 所示。

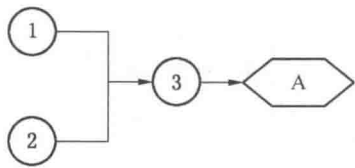


图 4 并联工序信息传导图

除了处置工序信息传递过程中的串并联关系外，还存在信息分流的情况，比如侦查过程中存在监测气体变化与搜寻受灾人员等不同任务。分流情形下的信息传导情况如图 5 所示。

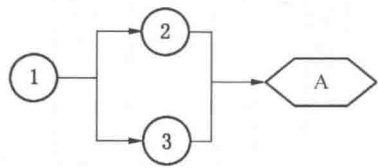


图 5 分流情形下信息传导图

2.3 基于相似信息的事故应急处置

目前，事故相似信息被广泛应用于各个领域。充分调用以往类似事故处置经验来制定当前问题的解决方案，瓦斯爆炸事故的应急处置过程也同样适用，能在事故信息不全、决策指挥人员压力较大的情况下给出合理的参考意见，提供有针对性的处置方案。

因此，合理利用事故数据，挖掘背后的隐含信息，可对瓦斯爆炸应急处置进行更高层次的分析，提高应急处置效率。利用相似信息解决瓦斯爆炸应急处置问题的思路如下：

- (1) 提出新的处置问题：根据当前面临的情景输入相关问题。
- (2) 相似事故检索：主要是为了将当前瓦斯爆炸事故与历史事故进行特征属性的相似匹配，包括关键特征属性匹配和信息相似度的确定。一个可用的事故案例通常包括两个方面的条件：当前事故和以往事故中特征属性变量与当前问题最相似；两类事故之间的相似性达到了一定程度。
- (3) 事故信息评价：根据计算所得不同事故之间的相似程度，对最为相似的若干以往事故信息进行评价。针对存在的差异对处置方法进行调整、修正，最终得到一种有针对性且适合当前情景的问题解决办法。

3 相似信息在瓦斯爆炸事故应急处置中的应用

3.1 事故相似信息提取

通过对瓦斯爆炸事故应急救援过程进行分析，可将影响救援的因素分为承灾体状态、事件本身状态、外部环境状态三类，它们对救援的影响程度不同。在利用相似信息解决当前事故处置问题的过程中，应尽量选取一些关键信息进行相似度的判断，这样既能迅速开展工作又能排除冗余信息的干扰。因此，在利用相似信息前，需要提取事故信息关键指标特征。分析事故应急救援特点及关键任务，将瓦斯爆炸事故特征属性表示为图 6。

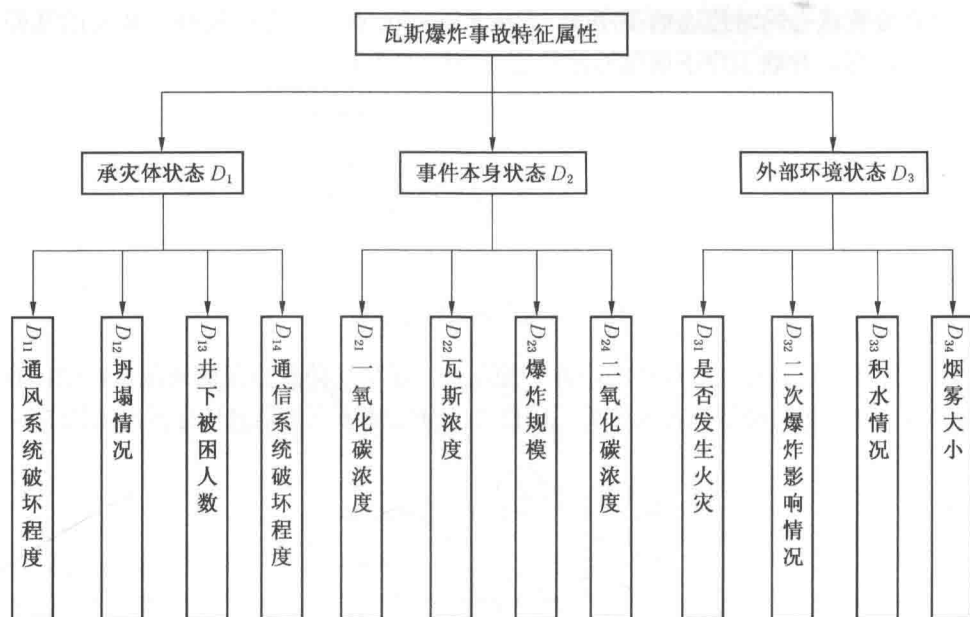


图6 瓦斯爆炸事故特征属性

采用 AHP 层次分析法确定事故特征属性的重要程度（表 1），可构造一级指标 D_1 、 D_2 、 D_3 以及二级指标的两两比较判断矩阵。

表 1 煤矿瓦斯爆炸事故特征属性重要程度

一级特征属性 D_i	D_i 重要程度	二级特征属性 D_{ij}	D_{ij} 重要程度	综合重要程度
D_1	0.5203	D_{11}	0.3561	0.1853
		D_{12}	0.3581	0.1863
		D_{13}	0.1841	0.1242
		D_{14}	0.0255	0.0158
D_2	0.1058	D_{21}	0.3856	0.0407
		D_{22}	0.2781	0.0394
		D_{23}	0.1507	0.0259
		D_{24}	0.0655	0.0069
D_3	0.3739	D_{31}	0.3948	0.1476
		D_{32}	0.5048	0.1901
		D_{33}	0.0843	0.0131
		D_{34}	0.0611	0.0167

从表 1 中可看出二级特征属性 D_{14} 、 D_{24} 、 D_{33} 、 D_{34} 的重要程度比较小（小于 0.02）^[11]，对瓦斯爆炸应急救援的影响相对较小，可以作为冗余特征属性处理。对剩余的瓦斯爆炸事故特征属性进行归一化计算，得出通风系统破坏程度、坍塌情况、井下被困人数、一氧化碳浓度、瓦斯浓度、爆炸规模、是否发生火灾、二次爆炸影响情况 8 个特征属性的权重值分别为：0.1972、0.1983、0.1322、0.0433、0.0419、0.0276、0.1571、0.2023。

3.2 信息相似度计算

3.2.1 结构相似度算法

在进行相似度判断过程中应该考虑属性缺失带来的计算误差,因此需考虑事故之间的结构相似程度。

$$S(A, B) = \frac{W_{A \cap B}}{W_{A \cup B}} = \frac{\sum_{i=1}^m w_i}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (1)$$

其中, A 为当前瓦斯爆炸事故的属性集合, B 为以往事故的属性集合, w_i 为 A 和 B 交集中第 i 个特征属性的权重, w_j 为 A 和 B 并集中第 j 个特征属性的权重, m 为 $A \cap B$ 中属性个数, n 为 $A \cup B$ 中属性个数。

3.2.2 属性相似度算法

1. 枚举型属性

该属性就是将其包含的所有可能取值全部列举出来,其相似性可依据属性值是否一致来判断,属性值一样则相似度为 1,不一样则为 0。

2. 数值型属性

采用欧氏距离来计算数值型属性的相似度,其公式如下:

$$\text{Sim}(a_i, b_i) = 1 - \text{dist}(a_i, b_i) = 1 - \frac{|a_i - b_i|}{|\max_i - \min_i|} \quad (2)$$

其中 a_i 、 b_i 表示第 i 个属性的值,须经过归一化处理; $\max_i$ 和 $\min_i$ 表示第 i 个特征属性的最大值和最小值。

3. 模糊型属性

在计算模糊属性之间相似度的时候,一般用计算相对面积的方法,将不同函数所表示面积的重复部分求出来作为两个模糊属性之间的相似度^[12],计算公式如下:

$$\text{Sim}(a_i, b_i) = \frac{S(a_i \cap b_i)}{S(a_i \cup b_i)} = \frac{S(a_i \cap b_i)}{S(a_i) + S(b_i) - S(a_i \cap b_i)} \quad (3)$$

上式中 S 代表所采用隶属函数的面积; $a_i \cap b_i$ 表示所计算两个模糊集合之间的交集; $a_i \cup b_i$ 表示所计算两个模糊集合之间的并集。根据模糊集合存在方式的不同,可将其两两关系划分为相交、相离和包含。

3.2.3 综合相似度计算

综合相似度通过结构相似度和属性的加权相似度两个层次共同计算所得,具体公式如下:

$$\text{Sim}(A, B) = S(A, B) \sum_{i=1}^m w_i \text{sim}(a_i, b_i) \quad (4)$$

3.3 实例分析

平顶山煤业集团十一矿位于平顶山市西郊香山脚下,为高瓦斯矿井,后升级为煤与瓦斯突出矿井。1993 年 5 月 8 日,己_{16,17}-17071 风巷发生瓦斯爆炸事故,在启动局部通风机排放瓦斯过程中发生爆炸。事故发生后,该矿第一时间启动应急预案。根据当时瓦斯爆炸事故信息,可对目标事故与以往事故信息中的特征属性取值进行提

取，具体信息见表 2。

表 2 瓦斯爆炸目标事故与以往事故特征属性数据表

事故	井下被困人数/人	CO 体积分数/%	CH ₄ 体积分数/%	爆炸规模	通风系统破坏程度	坍塌情况	二次爆炸危害	是否引起火灾
A	44	0.03~0.06	4~8	大型	大范围	小范围	轻微	是
B ₁	38	0.05~0.09	3~9	局部	小范围	大范围	一般	否
B ₂	59	0.02~0.07	8~11	大型	大范围	大范围	一般	是
B ₃	45	0.08~0.11	9~12	连续	大范围	大范围	严重	是
B ₄	23	0.02~0.05	1~3	局部	小范围	大范围	轻微	否

为方便对事故情景进行区分及检索，针对以上确定的瓦斯爆炸事故特征属性，可采用自然语言变量对其相关信息进行描述并定义^[13]，具体见表 3。

表 3 模糊特征属性描述

序号	模糊型特征属性	取值范围
1	爆炸规模	局部爆炸（0~0.4）、大型爆炸（0.4~0.7）、连续爆炸（0.7~1）
2	通风系统破坏程度	正常（0~0.25）、小范围受阻（0.25~0.5）、大范围受阻（0.5~0.75）、完全中断（0.75~1）
3	坍塌情况	松动（0~0.25）、小范围垮落（0.25~0.5）、大范围垮落（0.5~0.75）、完全坍塌（0.75~1）
4	二次爆炸危害	危害轻微（0~0.25）、危害一般（0.25~0.5）、危害严重（0.5~0.75）、危害极其严重（0.75~1）

3.3.1 计算结构相似度

$S(A, B_1) = S(A, B_2) = S(A, B_3) = S(A, B_4)$

$$= \frac{W_{A \cap B}}{W_{A \cup B}} = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i}{\sum_{j=1}^n \omega_j} = \frac{1}{1} = 1$$

3.3.2 计算属性相似度

瓦斯爆炸特征属性中是否引发火灾属于枚举型属性，井下被困人数属于数值型属性，CO 体积分数、CH₄ 体积分数、爆炸规模、通风系统破坏程度、坍塌情况、二次爆炸危害属于模糊型特征属性。通过前文介绍的计算方法，可将相似度具体数值用表 4、表 5 和表 6 表示。

表 4 枚举型特征属性相似度

特征属性	A 与 B ₁ 相似度	A 与 B ₂ 相似度	A 与 B ₃ 相似度	A 与 B ₄ 相似度
是否引起火灾	0	1	1	0

表 5 数值型特征属性相似度

特征属性	A 与 B ₁ 相似度	A 与 B ₂ 相似度	A 与 B ₃ 相似度	A 与 B ₄ 相似度
井下被困人数	0.8333	0.5833	0.9722	0.4167

表 6 模糊型特征属性相似度

特征属性	A 与 B ₁ 相似度	A 与 B ₂ 相似度	A 与 B ₃ 相似度	A 与 B ₄ 相似度
CO 体积分数	0.2348	0.6330	0	0.5455
CH ₄ 体积分数	0.6970	0.1032	0.0169	0
爆炸规模	0.0544	1	0.1045	0.0544
通风系统破坏程度	0.0909	1	1	0.0909
坍塌情况	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
二次爆炸危害	0.0476	0.0476	0	1

3.3.3 计算事故信息综合相似度

$$\text{Sim}(A, B_1) = S(A, B_1) \sum_{i=1}^m w_i \text{sim}(A, B_{1i}) = 0.2547$$

$$\text{Sim}(A, B_2) = S(A, B_2) \sum_{i=1}^m w_i \text{sim}(A, B_{2i}) = 0.6804$$

$$\text{Sim}(A, B_3) = S(A, B_3) \sum_{i=1}^m w_i \text{sim}(A, B_{3i}) = 0.5298$$

$$\text{Sim}(A, B_4) = S(A, B_4) \sum_{i=1}^m w_i \text{sim}(A, B_{4i}) = 0.4131$$

由计算结果可知，B₂ 与当前事故的相似度最高。此时针对当前状况如灾区侦察、通风恢复等，可参照 B₂ 的处置经验。根据当时瓦斯爆炸事故处理情况，面对坍塌与通风系统破坏，救援路线及措施的确定不够迅速，这样对控制事故影响还存在一定不足。通过对相似事故处置方案的提取，并根据实际情况进行适当调整，有利于迅速制定当前事故状态下的应急处置方案，结果见表 7。

表 7 基于相似信息的处置方案

事故信息	相似度	处置经验教训
B ₂ （最相似）	0.6804	清理阻塞物，扩大通风口，挂风障，恢复原有通风路线；实时监测井下温度变化；气体浓度变化不大，从风巷进入工作面救人
B ₃ （次相似）	0.5298	洒水降尘，监测风流变化，清理阻塞物时注意烟雾和巷壁粉尘对冒顶迹象的掩盖，避免冒落危险区队员过于集中，在顶板活动时迅速撤离

4 结论

- (1) 从信息传递的角度对瓦斯爆炸事故应急处置进行研究，明确信息的重要性，对信息进行加工，以及时调整应急处置流程，决定了事故处置的有序性。
- (2) 构建了瓦斯爆炸事故应急救援影响因素的二级指标体系，筛除部分冗余特征属性，从 12 个属性值中提取出通风系统破坏程度、坍塌情况、井下被困人数、一氧化碳浓

度、瓦斯浓度、爆炸规模、是否发生火灾、二次爆炸影响情况 8 个关键属性指标。

(3) 利用相似信息解决当前事故问题, 给瓦斯爆炸应急救援提供了可行的思路; 对事故特征属性以及要素相似性的判断证明了该方法的可靠性; 将可能出现的对救援人员造成伤害的隐患进行及时排除, 以完成对事故最有效的控制。

参 考 文 献

- [1] 杨书召, 景国勋, 贾智伟, 等. 矿井瓦斯爆炸高速气流的破坏和伤害特性研究 [J]. 中国安全科学学报, 2009, 19 (5): 86.
- [2] 于不凡, 王佑安. 煤矿瓦斯灾害防治及利用技术手册 (修订版) [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
- [3] Robot B. Kelly. Industrial emergency prepa-redness [M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- [4] 周心权, 陈国新. 煤矿重大瓦斯爆炸事故致因的概率分析及启示 [J]. 煤炭学报, 2008, 33 (1): 42-46.
- [5] 盛武, 付小红, 高明中, 等. 煤矿瓦斯事故应急处置致因因子分析 [J]. 中国安全科学学报, 2014, 24 (12).
- [6] 郭德勇, 刘金城, 姜光杰. 煤矿瓦斯爆炸事故应急救援响应机制 [J]. 煤炭学报, 2006, 31 (6): 697-700.
- [7] Saleh J H, Cummings A M. Safety in the mining industry and the unfinished legacy of mining accidents: Safety levers and defense-in-depth for addressing mining hazards [J]. Safety Science, 2011, 49 (6): 764-777.
- [8] 刘效广, 杨乃定. 突发事件应急决策中的首因效应研究 [J]. 中国安全科学学报, 2013, 23 (11): 170.
- [9] 苏国韶, 张小飞, 燕柳斌. 基于案例推理的岩爆预测方法 [J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25 (1): 63-67.
- [10] Fan Z P, Li Y H, Wang X, et al. Hybrid similarity measure for case retrieval in CBR and its application to emergency response towards gas explosion [J]. Expert Systems with Applications An International Journal, 2014, 41 (5): 2526-2534.
- [11] 张尧, 樊治平. 部分指标权重信息下的区间数多指标决策方法 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40 (10): 1672-1676.
- [12] 张本生, 于永利. CBR 系统案例搜索中的混合相似性度量方法 [J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22 (3): 131-136.
- [13] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法应用 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 2000.

第一作者简介

杜波 (1963—), 男, 河南平顶山人, 博士, 教授级高级工程师, 现任中国平煤神马集团副总经理兼安监局局长。主要研究方向为矿山安全、应急救援。Tel: 0375-2787362。