

基于RIMER的氟化氢泄漏事故 救援指挥效能评估^{*}

宗 鹏 王慧飞 谭建伟 姜 波

中国人民武装警察部队学院

【摘 要】针对氟化氢泄漏事故救援指挥决策效能评估中存在的信息不完全、不精确带来的问题,提出了基于证据推理的置信库索引法(RIMER)的救援指挥决策效能评估方法。根据救援任务实际建立包含四层指标的效能评估指标模型,按照模型建立数据结构统一的置信规则库,并通过激活度计算、证据推理和组合、置信度计算,实现对氟化氢泄漏事故救援指挥效能的评价。最后通过事例对该方法进行例证,为氟化氢泄漏事故消防救援处置指挥效能评估提供一种新方法。

【关键词】氟化氢泄漏;RIMER;救援指挥;效能评估

氟化氢是被广泛运用的化工原料,在生产生活中不可或缺。但由于氟化氢行业的高危险性,每起安全事故发生都造成较为严重的后果。其中2016年9月潍坊氟化氢泄漏并扩散,造成3人死亡1人受伤。由于氟化氢泄漏事故处置稍有不慎将对遇险人员和救援人员造成极大威胁,公安消防部队在处置此类事故时需要正确、高效的组织指挥。对事故处置进行效能评估对以往同类事故处置进行分析,总结出经验教训,提高消防部队处置此类事故的能力。

1 评估方法的选择

对救援指挥决策进行效能评估,可以帮助救援指挥员提高救援指挥决策水平,避免指挥决策失误

而带来的重大损失。在现有灭火救援效能评估中,宋斌等针对灭火救援第一出动指挥员的决策关键要素进行了分析;夏东海等建立了基于智能化消防思想的指挥决策及其系统框架;马栋等进行了基于云模型的灭火救援决策效能评估。上述评估体系没有很好的解决效能评估中存在底层能力指标类型多样、评估信息不完全等问题。RIMER(基于证据推理的置信规则库推理方法)是在同一条件下处理多项不确定信息评估和复杂系统优化的方法,具有对模糊不确定性、概率不确定性数据的建模能力。针对险情现场掌握不完全的情况,RIMER方法不需要先验概率,与事故现场的情况相适应。因此,尝试将RIMER应用到氟化氢泄漏事故救援指挥效能评估中。

^{*}基金项目:河北省社会科学基金资助(HB17GL003)

作者简介:宗鹏(1994-),男,中国人民武装警察部队学院研究生三队研究生,主要从事消防灭火与应急救援指挥研究,河北省廊坊市,065000。

2 基于RIMER的救援指挥效能评估

2.1 评估指标体系的分析与建立

在灭火救援行动任务中,情况的获取是进行救援行动的基础条件。之后制定和实施任务是救援行动的主体部分。最后贯穿救援行动的后勤保障是任务完成的后盾。根据上述应急救援基本程序,将第二层指标体系分为情况的获取判断,任务的制定实施和作战保障三个方面^[1]。之后结合氟化氢泄漏事故处置实际情况细化指标体系,选取能最大限度反应指挥情况的前提条件^[2]。

2.1.1 情况的获取判断

要评估情报获取及判断的情况,现场指挥员首先需要掌握灾害的位置、严重程度、影响范围、蔓延趋势等情况。其次是现场固有的环境状况。现场环境将同时影响灾情的发展和救援任务的制定及实施,指挥员需要具体分析其对救援行动的利害情况。最后是对自身救援力量的准确把握,对各支救援队伍力量准确掌握的基础上,才能制定出最切合实际的行动方案。

2.1.2 任务的制定实施

要评估任务的制定及实施的情况,首先是任务目标的确定。根据灾害现场的主要方面和救援行动的基本思想制定救援任务的目标^[3],应该先于任务的制定及实施。并且在灾害现场复杂的环境情况下,任务传达和情况反馈流畅程度也将对任务的实施造成较大的影响。最后,结合氟化氢泄漏事故处置程序,确定评判任务实施情况的条件如危险区域划分、伤员抢救、泄漏的制止、洗消等。

2.1.3 作战保障

评估作战保障可以在一方面得出救援行动的可靠度和耐受力。根据氟化氢的强危害性,将评价作战保障任务的首要目标定为对救援人员的安全保障。其次是影响到救援行动开展的关键因素——现场的通信情况。第三方面是各类装备和增援人员的保障,由于战斗损耗或者灾情的扩大,救援装备和人员的充足保障将是影响战斗力持续力的关键。与作战保障的任务目标一致,也是评估作战保障的重要指标。根据上述分析,建立氟化氢泄漏事故救援指挥效能的四级指标体系,如下图。

2.2 基于RIMER的效能评估方法

基于RIMER的氟化氢泄漏事故救援指挥效能评估的基本过程是由专家给出输入信息,在经过训练的置信规则库系统中,联合其规则权重和前提属性权重来计算激活规则权重,通过激活权重判断规则是否被激活,从而计算得到输出结果^[4-5]。

2.2.1 建立置信规则库

置信规则库是根据专家的经验,对规则进行评价,要求按照统一的框架表达评价标准和专家经验。置信规则库是由“if-then”表示,其表示形式为:

$$R: \text{if } A_1^n \wedge A_2^n \wedge \cdots \wedge A_L^n, \\ \text{then } \{ (m_1, \beta_{1,n}), (m_2, \beta_{2,n}), \cdots (m_L, \beta_{L,n}) \} | (\sum_{i=1}^L \beta_{i,n} \leq 1)$$

式中:

$A = (A_1, A_2, \cdots, A_L)$ —规则库与各项规则能力的对应取值集合;

β_{in} —第 n 条规则前提条件下成立时结论为 m_i 的信用;

T_n —第 n 条规则的前提条件数。以作战保障为例,其子规则为救援人员安全保障、通信保障和装备及增援保障三个性能指标,当(救援人员安全保障=高) \wedge (通信保障=好) \wedge (装备及增援保障=好)时,由此可建立置信规则如下所示:

If [(救援人员安全保障=良好) \wedge (通信保障=合格) \wedge (装备及增援保障=合格)]

Then 作战保障 = { (良好, 0.7) (合格, 0.3) (不合格, 0) }

2.2.2 输入数据的转化

为了将输入数据转化为置信库的结构形式,设输入数据为:

$$(x_1, \varepsilon_1) \wedge (x_2, \varepsilon_2) \wedge \cdots \wedge (x_i, \varepsilon_i)$$

把定性规则 x_n 的各评价等级 ε_m 与数量值 a_n 建立对应关系,表示为 $x(\varepsilon_{mi}) = a_{mi}$ 。

转化公式为式(1):

$$P(\varepsilon_m) = \{ (a_{mi}, \lambda_{mi}); i=1, \cdots, i_m \} \quad (1)$$

$$\text{其中: } \lambda_{n,i} = \frac{a_{m,i+1} - x(\varepsilon_m)}{a_{m,i+1} - a_{m,i}}, \lambda_{m,i+1} = 1 - \lambda_{m,i}$$

如果 $a_{m,i} \leq x(\varepsilon_m) \leq a_{m,i+1}$, i_m 为第 m 个前提规则的评价等级个数。

由公式(1)将输入规则转化为 $(A_1^n, \lambda_1^n), (A_2^n,$

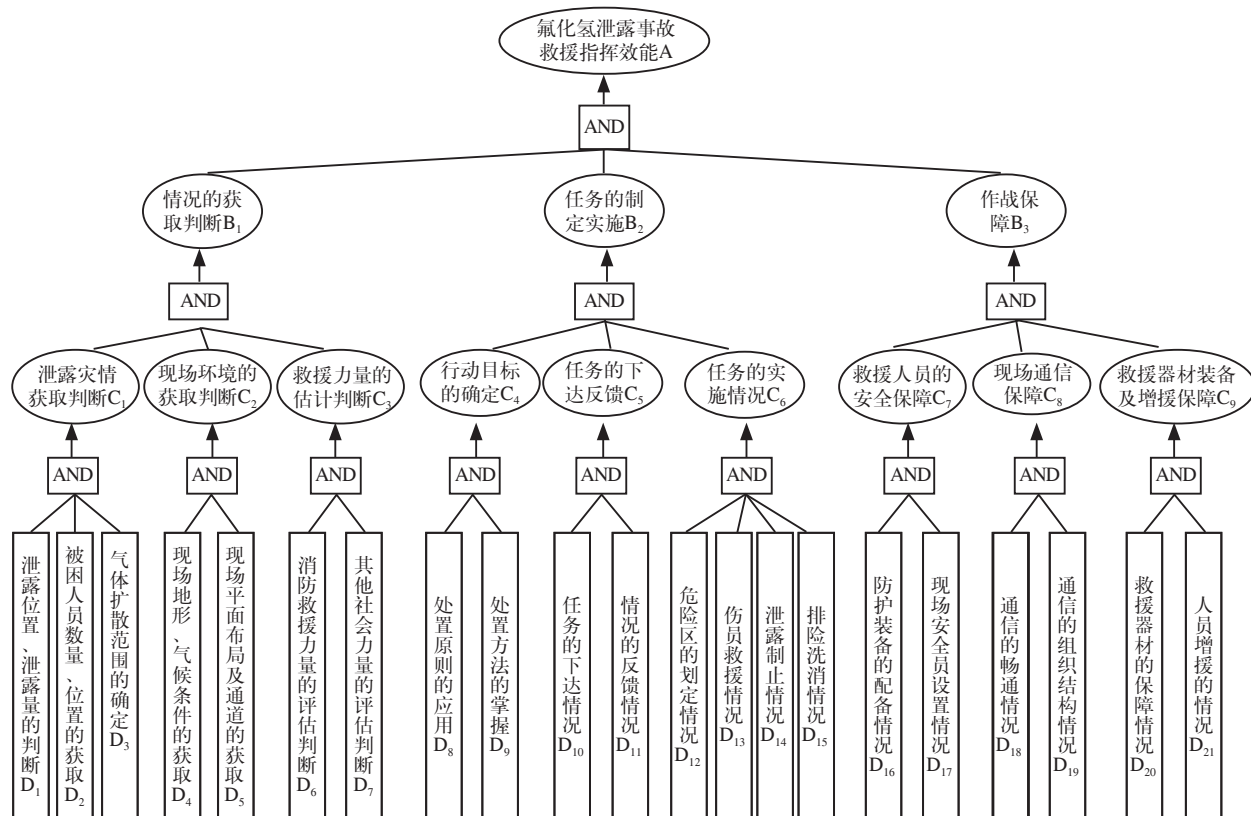


图 氟化氢泄漏事故救援指挥效能评估指标体系图

$\lambda_2^n), \dots, (A_1^n, \lambda_{T_n}^n)$, 计算数据对规则的激活程度:

$$\Phi_k = \frac{\theta_k \prod_{m=1}^{T_n} (\lambda_m^k)^{\bar{\delta}_{km}}}{\sum_k \theta_k \prod_{m=1}^{T_n} (\lambda_m^k)^{\bar{\delta}_{km}}} \quad (2)$$

式中, $\Phi_k \in [0, 1]$; λ_m^k 为第 k 条规则中第 m 个输入 x_m 相对于参考值的置信度, 由式 (2) 得到, 第 k 条规则的权重记为 θ_k , 规则 k 对于前提条件 m 的相对权重为 $\delta_{k,m}$ 。

2.2.3 构造基本可信数

基本可信数的构造如下式所示:

$$\begin{cases} m_{l,k} = \Phi_k \beta_{l,k} \\ m_{R,k} = 1 - \Phi_k \sum_l \beta_{l,k} \\ \bar{m}_{R,k} = 1 - \Phi_k \\ \tilde{m}_{R,k} = \Phi_k \left(1 - \sum_l \beta_{l,k} \right) \end{cases}$$

其中, $m_{l,k}$ 是第 k 条规则的 1 个结论分配的基本可信数。 $m_{R,k} = \bar{m}_{R,k} + \tilde{m}_{R,k}$, 是由于对第 k 条规则的评价不完全产生的。

2.2.4 置信度计算

假设通过激活权重的计算前 S 条规则被激活, 且 β 为由输入值推算得到的结果值的信度, $\beta_1, \beta_R, \beta_T$ 分别为效能等级满足救援指挥需求程度 (良好、合格、不合格) 的置信度数值。

$$\begin{cases} k_{I(k+1)} = \left[1 - \left(\sum_{l=1}^L \sum_{t=1, t \neq l}^L m_{l,I(k)} m_{t,k+1} \right) \right]^{-1} \\ \bar{m}_{R,I(1)} = \bar{m}_{R,1}, \quad \tilde{m}_{R,I(1)} = \tilde{m}_{R,1} \\ m_{l,I(k+1)} = k_{I(k+1)} \left(m_{l,I(k)} m_{l,k+1} + m_{l,I(k)} m_{R,k+1} + m_{R,I(k)} m_{l,k+1} \right) \\ \bar{m}_{R,I(k+1)} = k_{I(k+1)} \left(\bar{m}_{R,I(k)} \bar{m}_{R,k+1} \right) \\ \tilde{m}_{R,I(k+1)} = k_{I(k+1)} \left(\tilde{m}_{R,I(k)} \tilde{m}_{R,k+1} + \tilde{m}_{R,I(k)} \bar{m}_{R,I(k)} + \bar{m}_{R,I(k)} \tilde{m}_{R,k+1} \right) \\ \beta_1 = \frac{m_{l,I(S)}}{1 - \bar{m}_{R,I(S)}} \\ \beta_R = \frac{\tilde{m}_{R,I(S)}}{1 - \bar{m}_{R,I(S)}} \\ \beta_T = 1 - \beta_1 - \beta_R \end{cases}$$

3 例证

现有专家给出各底层因素的概率参数以构建置信规则库,并对某氟化氢泄漏事故按照上述的指标体系进行打分,其情况记为 $P=\{P_1, P_2 \cdots P_{10}\}$,假设置信库中规则的权重相等,规则前提条件的相对权重也相等,即 $\theta_1=\theta_2=\cdots=\theta_n, \delta_{k,1}=\delta_{k,2}=\cdots=\delta_{k,T_n}$ 。在此以作战保障 B_3 为例进行计算过程说明。

第一步:确定激活置信库。在置信规则库中,找出结论为“作战保障”的规则,输入数据为 $C7=\{(高,0.7), (中,0.3)\}$, $C8=\{(合格,0.6), (不合格,0.4)\}$, $C9=\{(良好,1)\}$ 计算其激活度 Φ_k ,得到激活规则第4、7、13、16条,见下表。

表 被激活规则表

标号	前提条件	结论
4	$(C7=高) \wedge (C8=合格) \wedge (C9=良好)$	$B3=\{(A,0.8)(B,0.1)(C,0.1)\}$
7	$(C7=高) \wedge (C8=不合格) \wedge (C9=良好)$	$B3=\{(A,0.65)(B,0.25)(C,0.1)\}$
13	$(C7=中) \wedge (C8=合格) \wedge (C9=良好)$	$B3=\{(A,0.5)(B,0.4)(C,0.1)\}$
16	$(C7=中) \wedge (C8=不合格) \wedge (C9=良好)$	$B3=\{(A,0.3)(B,0.4)(C,0.3)\}$

第二步,输入数据的转换:通过公式(1)将输入值带入,得到 $P_1(高)=0.7, P_1(中)=0.3, P_1(低)=0; P_2(良好)=0, P_2(合格)=0.6, P_1(不合格)=0.4; P_3(良好)=1, P_3(合格)=0, P_3(不合格)=0$ 。

第三步,计算匹配度:利用公式(2)计算转换后的数据对规则的激活程度为

$$\Phi_4=0.42, \Phi_7=0.28, \Phi_{13}=0.18, \Phi_{16}=0.12$$

第四步,构造基本可信数,利用公式计算得:

$$(m_{1,4}, m_{2,4}, m_{3,4}, m_{R,4}, \bar{m}_{R,4}, \tilde{m}_{R,4}) = (0.336, 0.042, 0.042, 0.58, 0.58, 0)$$

$$(m_{1,7}, m_{2,7}, m_{3,7}, m_{R,7}, \bar{m}_{R,7}, \tilde{m}_{R,7}) = (0.182, 0.007, 0.028, 0.72, 0.72, 0)$$

$$(m_{1,13}, m_{2,13}, m_{3,13}, m_{R,13}, \bar{m}_{R,13}, \tilde{m}_{R,13}) = (0.09, 0.072, 0.018, 0.82, 0.82, 0)$$

$$(m_{1,16}, m_{2,16}, m_{3,16}, m_{R,16}, \bar{m}_{R,16}, \tilde{m}_{R,16}) = (0.036, 0.048, 0.036, 0.88, 0.88, 0)$$

第五步,置信度计算:

根据公式计算可以得出

$$k_{I(4)}=1.0674, m_{1,I(4)}=0.4313, m_{2,I(4)}=0.1807, m_{3,I(4)}=0.0491, m_{R,I(4)}=0.3279, \tilde{m}_{R,I(4)}=0,$$

$$\text{根据 } \beta_1 = \frac{m_{1,I(4)}}{1-\bar{m}_{R,I(4)}} = \frac{0.4313}{0.6721} = 0.6418,$$

$$\beta_R = \frac{m_{2,I(4)}}{1-\bar{m}_{R,I(4)}} = \frac{0.1807}{0.6721} = 0.2816,$$

$$\beta_T = 1 - \beta_1 - \beta_R = \frac{m_{3,I(4)}}{1-\bar{m}_{R,I(4)}} = 0.0766。$$

最终得到作战保障情况属于良好的概率为0.6418,属于合格的概率为0.2816,属于不合格的概率为0.0766。由此可知此次战斗中的作战保障情况,基本上满足了作战的需求,同理可一次计算其余部分的救援指挥效能。

4 结束语

针对氟化氢泄漏事故救援指挥效能评估问题,运用RIMER方法可以更加符合实际的表达不同类型信息,不完全信息和模糊信息,克服信息缺失带来的干扰。该评估方法与氟化氢泄漏事故发生初期难以及时完全掌握现场信息的实际情况相适,通过效能分析,可以为灭火与应急救援指挥效能评估提供一种新的思路。根据不同层级指标体系的评估结果,分析存在的问题,并有针对性的提出改进意见,提高消防部队处置行动的情报获取判断、任务的制定实施及战斗保障等方面的能力,最终提高整体的救援指挥能力水平。

参考文献

- [1] 马栋,夏登友,陈震,等.基于云模型的灭火救援效能评估[J].消防科学与技术,2016,35(1):104-107
- [2] 宋英华,李旭彦,高维义,等.城市洪灾应急案例检索中的RIMER方法研究[J].中国安全科学学报,2015,25(7):153-158
- [3] Yang Jianbo, Liu Jun, Wang Jin, et al. Belief Rule-base Inference Methodology Using the Evidential Reasoning Approach-RIMER[J]. IEEE Transaction on System, MAN, and Cybernetics-part A: System and Humans, 2006, 36(2): 266-285
- [4] 蔡秋慧,李孟军.基于RIMER的航天项目风险评估方法[J].科技和产业,2012,12(10):64-66,80
- [5] Chen Y W, Yang J B, Xu D L, et al. On the Inference and Approximation Properties of Belief rule Based[J]. Information Sciences, 2013: 121-135