

doi: 10.7690/bgzd.2020.09.014

## 基于证据推理的部队安全文化建设水平评估方法

刘汉增, 陈桂明, 蔺志强, 周立尧

(火箭军工程大学作战保障学院, 西安 710025)

**摘要:** 为解决部队安全文化建设水平评估的问题, 提出一种基于证据推理的部队安全文化建设水平评估方法。从安全理念、安全制度、安全活动和安全物质 4 个方面构建评估指标体系, 建立基于置信规则库的安全文化建设水平评估模型, 结合实例分析得到初步评估结果, 利用参数学习的方法对规则库进行优化及再次评估, 并通过实例分析进行验证。分析结果表明: 优化后的评估模型使评估过程更加高效, 评估结果更加准确。

**关键词:** 部队; 安全文化; 证据推理; 优化; 评估

**中图分类号:** TJ01 **文献标志码:** A

## Evaluation Method of Construction Level of Army Safety Culture Based on Evidence Reasoning

Liu Hanzeng, Chen Guiming, Lin Zhiqiang, Zhou Liyao

(College of Operational Support, Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of evaluating the construction level of army safety culture, a method of evaluating the construction level of army safety culture based on evidence reasoning is proposed. From 4 aspects, including safety concept, safety system, safety activity, and safety substance, the evaluation index system is constructed, and the evaluation model of safety culture construction level based on the confidence rule base is established. The preliminary evaluation result is obtained by combining the case analysis. The rule base is optimized by using the method of parameter learning and reevaluated, and verified by the case analysis. The result shows that the optimized evaluation model makes the evaluation process more efficient and the evaluation result more accurate.

**Keywords:** army; safety culture; evidence reasoning; optimization; evaluation

### 0 引言

安全是部队日常训练、战备演习和执行任务的保障。文化是官兵精神活动与行为活动的总和。部队安全文化则是军人、军队为保证个人和群体安全, 避免人和财物由于非战斗因素损失而产生的思想认识、法规制度、措施手段、技能素质、行为活动以及物质保障的综合体现<sup>[1]</sup>。部队安全文化评估, 是对安全文化本身以及其作用效果的评估, 是对官兵安全理念的认识水平以及实际的行动影响力的综合衡量。

刘鸣高<sup>[2]</sup>提出了基于安全理念文化、安全制度文化、安全行为文化和安全物质文化 4 个方面的意见建议; 蒋清江等<sup>[3]</sup>从安全价值标准、安全价值体系、安全机制和安全文化潮流发展 4 个方面论述安全文化对部队安全管理的重要意义; 王振华等<sup>[4]</sup>系统分析了安全文化的内涵以及培育安全文化的基本思路, 明确安全文化对部队安全发展的重大意义; 徐东磊等<sup>[5]</sup>提出要从安全学习教育、安全行为习惯、

安全活动开展和安全氛围营造 4 个方面入手, 发挥安全文化对安全工作的推动作用, 进一步加强部队安全管理工作。

笔者结合部队安全工作的特点, 构建适用于部队安全文化评估的指标体系, 提出基于证据推理算法的置信规则库推理方法, 并用实例验证指标体系和方法的可行性。

### 1 安全文化评估指标体系

部队安全文化是官兵在长期军事实践中积累并固化下来的精神活动, 以及相关物质活动的总称, 包括意识形态领域的价值观念、与其配套的系列法规制度、安全防护设施以及官兵个人的安全行为习惯和技能素质等<sup>[6]</sup>。

#### 1.1 评估指标分析

安全文化评估指标, 既有意识形态方面的定性指标, 又有数值概念的定量指标, 通过调研安全文化建设的实际情况, 将其分为安全理念塑造、

收稿日期: 2020-05-10; 修回日期: 2020-06-07

作者简介: 刘汉增(1991—), 男, 山东人, 硕士, 从事国防工程与项目管理研究。E-mail: 1158729864@qq.com。

安全制度建设、安全活动组织、安全物质保障 4 个方面。

安全理念是官兵对部队安全总体的根本认识，是官兵安全知识、安全行为和安全精神在意识中固化形成、被全体官兵认同的价值取向和主导意识，是安全文化的核心要义。安全制度是部队官兵必须遵守的安全规章制度，如安全条例、安全管理制度、安全教育等，是军营安全文化的重要内容和保障机制。安全活动是安全机构组织开展的涉及安全文化建设的相关活动以及官兵之间安全信息的沟通交流

活动，是安全文化外化在官兵身上的动态行为。安全物质以预防事故发生或降低事故危害为目标，而投入的财力保障或设置的各种安全设施，是部队安全文化建设中有形的外在表现<sup>[7]</sup>。

### 1.2 构建评估指标体系

如图 1 所示，部队安全文化系统是一个变化的、复杂的、非线性的系统，笔者在借鉴军营安全文化建设规章制度的基础上，通过征求专家意见和部队调研构建了安全文化评估指标体系<sup>[8]</sup>。

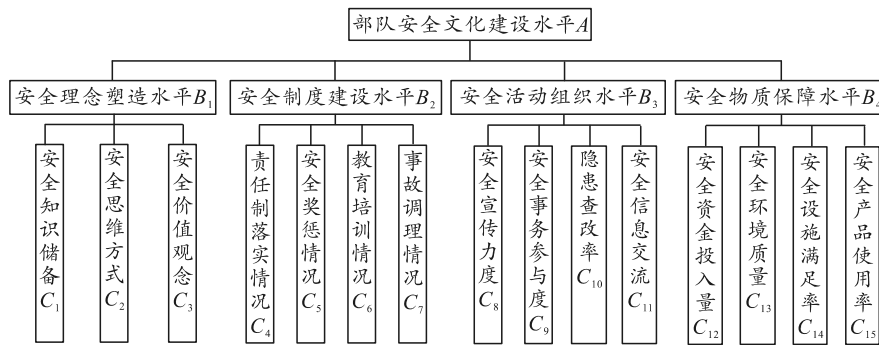


图 1 部队安全文化建设水平评估模型

## 2 部队安全文化建设水平评估模型

部队安全文化建设水平评估要解决各类因素如何影响建设水平的问题。安全文化体系不仅包括安全价值观念、思维方式、安全制度建设等定性指标，而且包括安全知识、隐患整改和安全硬件设施等定量指标。由于指标体系涉及影响因素众多、指标类型多样、结构复杂、测量量纲不统一以及专家的参与，安全文化建设水平评估问题具有指标类型多样带来的不确定性、体系结构复杂带来的结构不确定性以及人的认知局限带来的认知不确定性<sup>[9]</sup>。

### 2.1 构建评估模型

置信规则库基于 D-S 证据理论采用置信度结构来刻画指标的不确定性和不完整的专家知识与经验，并以置信度结构形式展示综合集成的结果。在处理包含不确定信息的复杂系统建模与评估等问题时具有独特优势，并在系统行为识别与预测领域广泛应用<sup>[10-11]</sup>。笔者拟采用置信规则库对安全文化建设水平进行评估，步骤如下：

#### 1) 置信规则库构造。

首先建立置信规则库，将不同种类指标以及历史信息、专家经验按照置信度结构方式进行规范化表达与转换。置信规则库由“if-then”形式给出，且每条规则的结论具有置信度等级<sup>[12]</sup>。置信规则库

中的规则<sup>[13-14]</sup>可以表示为

$$R_k : \text{if } A_1^k \wedge A_2^k \wedge \dots \wedge A_{T_k}^k, \\ \text{then } \{(r_1, \beta_{1k}), (r_2, \beta_{2k}), \dots, (r_l, \beta_{lk}), \dots, (r_L, \beta_{Lk})\} \quad (1)$$

式中： $A_i^k (i=1,2,\dots,T_k; k=1,2,\dots,K)$ 为在第  $k$  条规则中第  $i$  个前提条件的状态， $K$  为置信规则库中规则的总数， $T_k$  为第  $k$  条规则中前提条件的总数； $\beta_{lk}$  为前提条件成立时第  $k$  条规则第  $l$  个等级结论的置信度； $r_l (l=1,2,\dots,L)$  为第  $l$  个等级结论的置信度， $L$  为结论的等级总数； $\sum_{l=1}^L \beta_{lk} \leq 1$ 。该规则在规则库中的相对权重记为  $\theta_k$ ，其前提条件间的相对权重记为  $\delta_{k1}, \delta_{k2}, \dots, \delta_{kT_k} (k=1,2,\dots,K)$ 。若  $\sum_{l=1}^L \beta_{lk} = 1$  则称该条规则的信息完备；若  $\sum_{l=1}^L \beta_{lk} = 0$  则表示无论输入为何值，输出未知；若  $\sum_{l=1}^L \beta_{lk} < 1$  则表示部分输出结果可知。

#### 2) 规则激活与权重计算。

建设水平置信规则库中各影响因素的参考值为  $\{A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1|A_1|}\}$ 。不失一般性，序列  $A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1|A_1|}$  单调递增，则输入值  $x_i$  与参考值  $A_{ij}$  的相似程度由下式给出：

$$\varphi(x_i, A_{ij}) = \begin{cases} \frac{A_{i(k+1)} - x_i}{A_{i(k+1)} - A_{ik}}, & j = k (A_{ik} \leq x_i \leq A_{i(k+1)}) \\ \frac{x_i - A_{ik}}{A_{i(k+1)} - A_{ik}}, & j = k+1 \\ 0, & j = 1, 2, \dots, |A_i|, j \neq k, k+1 \end{cases} \quad (2)$$

式中： $\varphi(x_i, A_{ij})$ 为相似函数<sup>[15-16]</sup>，计算及选取与指标的类型和特点相关； $A_{ij}$ 为第*i*个指标的第*j*个参考值； $|A_i|$ 为第*i*个指标参考值的个数； $x_i$ 为底层指标的实际输入值。

需要特别说明的是，当规则库中指标属性取值为某个单点  $A_i^*$  时，

$$\varphi(x_i, A_i^*) = 1 - \frac{|x_i - A_i^*|}{\max\{|A_i^* - p|, |q - A_i^*|\}} \quad (3)$$

式中 $[p, q]$ 为输入值  $x_i$  的实际取值范围。这样，相似函数  $\varphi$  在理论上可以保证：当  $x_i = A_i^*$  时， $\varphi$  取值刚好为 1； $x_i$  距离  $A_i^*$  越远， $\varphi$  取值越小。能够准确刻画输入值  $x_i$  与  $A_i^*$  的相似性。

相似度计算完成后，计算输入值  $x_i$  对单个指标的匹配程度，输入为  $(x_1, \varepsilon_1) \wedge (x_2, \varepsilon_2) \wedge \dots \wedge (x_I, \varepsilon_I)$ 。其中： $\varepsilon_i$ 为输入数据  $x_i$  的置信度； $I$ 为指标的总数。带有置信度的数据对指标的匹配程度计算方法如下：

$$T(x_i, \varepsilon_i) = \{(A_{ij}, \alpha_{ij}); i = 1, 2, \dots, I, j = 1, 2, \dots, |A_i|\} \quad (4)$$

式中： $\alpha_{ij}$ 表示输入对能力需求  $c_i$  的第  $j$  个取值  $A_{ij}$  单个指标的匹配程度， $\alpha_{ij} = \varphi(x_i, A_{ij})\varepsilon_i / \sum_{|A_i|} \varphi(x_i, A_{ij})$ ，

$\alpha_{ij} \in [0, 1]$ ；对于确定性数据，可以看作其置信度  $\varepsilon_i = 1$ ；对于仿真结果数据， $\varepsilon_i$ 取仿真结果的频率值。

根据式(4)，将实际输入对应于第  $k$  条规则依次转换成  $(A_1^k, \alpha_1^k), (A_2^k, \alpha_2^k), \dots, (A_{|A_k|}^k, \alpha_{|A_k|}^k)$ ， $\alpha_{|A_k|}^k$ 表示输入对第  $k$  条规则的匹配度<sup>[17]</sup>。经过转换后的输入数据对第  $k$  条规则的归一化激活程度

$$\omega_k = \frac{\theta_k \prod_{i=1}^{T_k} (\alpha_i^k)}{\sum_{i=1}^I \theta_i \alpha_i} \quad (5)$$

式中： $\theta_k$ 为第  $k$  条规则的相对权重； $\alpha_k$ 为整个输入值对第  $k$  条规则的匹配程度。当  $\alpha_k = 0$  时  $\omega_k = 0$ ，表示第  $k$  条规则未被激活。

3) 使用证据推理(ER)算法进行集成。

ER 算法的基本公式<sup>[18]</sup>如下：

$$\mu = \left[ \sum_{l=1}^N \prod_{k=1}^K (\omega_k \beta_{lk} + 1 - \omega_k \sum_{l=1}^N \beta_{lk}) - (N-1) \prod_{k=1}^K (1 - \omega_k \sum_{l=1}^N \beta_{lk}) \right]^{-1} \quad (6)$$

$$\beta_l = \frac{\mu \left[ \prod_{k=1}^K (\omega_k \beta_{lk} + 1 - \omega_k \sum_{l=1}^N \beta_{lk}) - \prod_{k=1}^K (1 - \omega_k \sum_{l=1}^N \beta_{lk}) \right]}{1 - \mu \left[ \prod_{k=1}^K (1 - \omega_k) \right]} \quad (7)$$

式中  $\mu$  为证据推理组合的归一化系数。

通过以上步骤，可构建出基于置信规则库的评估模型。在该模型中输入评估对象的参数值，就能得出部队安全文化建设水平的等级分布。

### 2.2 置信规则库优化模型分析

为解决复杂系统规则库中的规则权重、前提属性和置信度等参数由专家主观确定而导致评估结果偏差大的问题，笔者提出基于初始规则库的优化模型，对专家给定的初始规则库参数进行训练，降低评估过程的复杂度，使优化后的规则库能够更真实反映系统的实际情况<sup>[19]</sup>。

对于置信规则库参数进行训练的基本思想如图 2<sup>[20]</sup>所示。

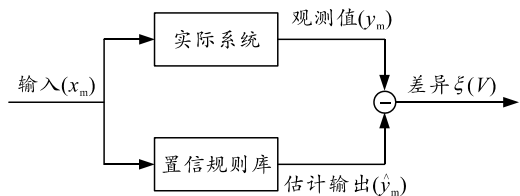


图 2 置信规则库优化思想

图中： $x_m$ 表示输入； $y_m$ 表示对应输出； $\hat{y}_m$ 表示由通过规则库产生的估计输出； $V$ 表示由规则库构成的向量； $\zeta(V)$ 表示  $y_m$  和  $x_m$  之间的差异，对于给定的输入  $x_m$ ，希望置信规则库能够产生输出  $\hat{y}_m$  尽可能逼近  $y_m$ 。

对于给定的输入  $x_m$ ，利用证据推理(ER)算法可以产生如下的 BRB 系统分布输出，即

$$\hat{y}_m = (D_j, \hat{\beta}_j(m)) \quad (8)$$

其中， $\hat{\beta}_j(m)$ 表示由 ER 算法产生的相对于评价结果  $D_j$  的置信度， $j = 1, 2, \dots, N$ 。

根据上式，得到置信度分布的最终得分，即

$$\hat{y}_m = \sum_{j=1}^N \mu(D_j) \hat{\beta}_j(m) \quad (9)$$

其中  $\mu(D_j)$ 表示在规则输出评价结果  $D_j$  的效用。

为了有效利用观测信息对置信规则库中的规则

权重  $\theta_k$ 、输入权重  $\delta_i$ 、置信度  $\beta_{j,k}$  和评价结果  $D_j$  进行训练，建立优化模型<sup>[21]</sup>如下：

$$\begin{aligned} & \min_v \{\xi(V)\}, \\ & \xi(V) = \frac{1}{T} \sum_{m=1}^T (y_m - \hat{y}_m)^2, \\ & \text{s.t} \\ & V = [\theta_k, \bar{\delta}_i, \beta_{j,k}, \mu(D_j)]^T, \\ & 0 \leq \theta_k \leq 1, \\ & 0 \leq \bar{\delta}_i \leq 1, \\ & 0 \leq \beta_{j,k} \leq 1, \\ & \sum_{j=1}^N \beta_{j,k} \leq 1. \end{aligned} \quad (10)$$

其中： $\xi(V)$  表示目标函数； $V$  表示由规则库中参数构成的列向量，且  $k=1,2,\dots,L$ ， $i=1,2,\dots,M$ ， $j=1,2,\dots,N$ 。

在式(10)的优化目标中，包含  $S_1 = N \times L + L + M + N$  个参数和  $S_2 = N \times L + 2L + M + 2N - 1$  个约束条件，该优化问题的实质是具有  $S_1$  个参数，并且在  $S_2$  个约束条件下的非线性优化问题，可借助 Matlab 软件中的优化工具箱计算<sup>[22]</sup>。

### 3 安全文化建设水平评估实例

以甲、乙 2 支建制部队为例说明文中评估方法的应用。假设规则库中各条规则的权重均为 1，前提条件的相对权重也均为 1。能力或指标取值如表 1 所示，建立置信规则库如表 2 所示。

表 1 安全文化建设水平指标取值

| 编码              | 指标名称     | 指标取值             |
|-----------------|----------|------------------|
| A               | 安全文化建设水平 | (高, 中, 低)        |
| B <sub>1</sub>  | 安全理念塑造水平 | (高, 中, 低)        |
| B <sub>2</sub>  | 安全制度建设水平 | (高, 中, 低)        |
| B <sub>3</sub>  | 安全活动组织水平 | (高, 中, 低)        |
| B <sub>4</sub>  | 安全物质保障水平 | (高, 中, 低)        |
| C <sub>1</sub>  | 安全知识储备   | (60, 80, 100)    |
| C <sub>2</sub>  | 安全思维方式   | (合理, 比较合理, 一般)   |
| C <sub>3</sub>  | 安全价值观念   | (合理, 比较合理, 一般)   |
| C <sub>4</sub>  | 责任制落实情况  | (优, 良, 一般)       |
| C <sub>5</sub>  | 安全奖惩情况   | (优, 良, 一般)       |
| C <sub>6</sub>  | 教育培训情况   | (优, 良, 一般)       |
| C <sub>7</sub>  | 事故处理情况   | (优, 良, 一般)       |
| C <sub>8</sub>  | 安全宣传力度   | (强, 中, 弱)        |
| C <sub>9</sub>  | 安全事务参与度  | (70%, 85%, 100%) |
| C <sub>10</sub> | 隐患查改率    | (80%, 90%, 100%) |
| C <sub>11</sub> | 安全信息交流   | (强, 中, 弱)        |
| C <sub>12</sub> | 安全资金投入量  | (90%, 95%, 100%) |
| C <sub>13</sub> | 安全环境质量   | (优, 良, 一般)       |
| C <sub>14</sub> | 安全设施满足率  | (80%, 90%, 100%) |
| C <sub>15</sub> | 安全产品使用率  | (80%, 90%, 100%) |

表 2 带有置信度结构的安全文化建设水平评估规则库

| 编号 | 权重 | 前提条件  | 结论  |
|----|----|---|---|
| 1  | 1  | (B <sub>1</sub> =高) ∧ (B <sub>2</sub> =高) ∧ (B <sub>3</sub> =高) ∧ (B <sub>4</sub> =高) | A={ (高,1)(中,0)(低,0) }                     |
| 2  | 1  | (B <sub>1</sub> =高) ∧ (B <sub>2</sub> =高) ∧ (B <sub>3</sub> =高) ∧ (B <sub>4</sub> =中) | A={ (高,0.8)(中,0.2)(低,0) }                 |
| 3  | 1  | (B <sub>1</sub> =高) ∧ (B <sub>2</sub> =高) ∧ (B <sub>3</sub> =中) ∧ (B <sub>4</sub> =中) | A={ (高,0.7)(中,0.1)(低,0.2) }               |
| 4  | 1  | (B <sub>1</sub> =高) ∧ (B <sub>2</sub> =中) ∧ (B <sub>3</sub> =高) ∧ (B <sub>4</sub> =中) | A={ (高,0.7)(中,0.2)(低,0.1) }               |
| 5  | 1  | (B <sub>1</sub> =中) ∧ (B <sub>2</sub> =高) ∧ (B <sub>3</sub> =高) ∧ (B <sub>4</sub> =高) | A={ (高,0.8)(中,0.2)(低,0) }                 |
| ∴  | ∴  | ∴   | ∴   |
| 1  | 1  | (C <sub>1</sub> =100) ∧ (C <sub>2</sub> =合理) ∧ (C <sub>3</sub> =合理)                   | B <sub>1</sub> ={ (高,1)(中,0)(低,0) }       |
| 18 | 1  | (C <sub>1</sub> =100) ∧ (C <sub>2</sub> =合理) ∧ (C <sub>3</sub> =比较合理)                 | B <sub>1</sub> ={ (高,0.6)(中,0.4)(低,0) }   |
| 19 | 1  | (C <sub>1</sub> =100) ∧ (C <sub>2</sub> =比较合理) ∧ (C <sub>3</sub> =比较合理)               | B <sub>1</sub> ={ (高,0.4)(中,0.3)(低,0.3) } |
| ∴  | ∴  | ∴   | ∴   |

设待评估对象甲、乙的输入参数值如表 3 所示。

表 3 对象 A、B 的输入参数

| 指标              | 甲             | 乙             |
|-----------------|---------------|---------------|
| C <sub>1</sub>  | 95            | 85            |
| C <sub>2</sub>  | (0.7,0.3,0)   | (0.3,0.3,0.4) |
| C <sub>3</sub>  | (0.8,0.2,0)   | (0.5,0.2,0.3) |
| C <sub>4</sub>  | (0.8,0.2,0)   | (0.4,0.2,0.4) |
| C <sub>5</sub>  | (0.6,0.4,0)   | (0.2,0.3,0.5) |
| C <sub>6</sub>  | (0.7,0.3,0)   | (0.4,0.2,0.4) |
| C <sub>7</sub>  | (0.6,0.3,0.1) | (0.3,0.3,0.4) |
| C <sub>8</sub>  | (0.5,0.5,0)   | (0.2,0.4,0.4) |
| C <sub>9</sub>  | 0.94          | 0.86          |
| C <sub>10</sub> | 0.95          | 0.89          |
| C <sub>11</sub> | (0.7,0.3,0)   | (0.4,0.2,0.4) |
| C <sub>12</sub> | 1             | 0.95          |
| C <sub>13</sub> | (0.8,0.2,0)   | (0.3,0.3,0.4) |
| C <sub>14</sub> | 0.95          | 0.88          |
| C <sub>15</sub> | 0.96          | 0.91          |

#### 3.1 计算安全理念塑造水平 B<sub>1</sub>

以对象甲中安全理念 B<sub>1</sub> 为例，进行计算分析。

已知输入为 C<sub>1</sub>=(95,1)，C<sub>2</sub>=(0.7,0.3,0)，C<sub>3</sub>=(0.8,0.2,0)。具体计算步骤如下：

1) 根据已构造置信度规则库，由 C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub> 的输入可知，激活了规则库中编号为 17、18、19、20、21 对应的规则，相应的规则如表 4 所示。

2) 输入数据，计算相似度。将输入值 C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub> 分别代入式 (2) 可得  $\varphi_1(95,100)=0.75$ ， $\varphi_1(95,80)=0.25$ ； $\varphi_2(\text{合理}, \text{合理})=0.7$ ， $\varphi_2(\text{比较合理}, \text{比较合理})=0.3$ ， $\varphi_3(\text{合理}, \text{合理})=0.8$ ， $\varphi_3(\text{比较合理}, \text{比较合理})=0.2$ 。

表 4  $B_1$  输入激活规则

| 编号 | 权重 | 前提条件  | 结论   |
|----|----|---|--|
| 17 | 1  | $(C_1=100) \wedge (C_2=\text{合理}) \wedge (C_3=\text{合理})$     | $B_1=\{(\text{高},1)(\text{中},0)(\text{低},0)\}$       |
| 18 | 1  | $(C_1=100) \wedge (C_2=\text{合理}) \wedge (C_3=\text{比较合理})$   | $B_1=\{(\text{高},0.6)(\text{中},0.4)(\text{低},0)\}$   |
| 19 | 1  | $(C_1=100) \wedge (C_2=\text{比较合理}) \wedge (C_3=\text{比较合理})$ | $B_1=\{(\text{高},0.4)(\text{中},0.3)(\text{低},0.3)\}$ |
| 20 | 1  | $(C_1=80) \wedge (C_2=\text{合理}) \wedge (C_3=\text{合理})$      | $B_1=\{(\text{高},0.8)(\text{中},0.1)(\text{低},0.1)\}$ |
| 21 | 1  | $(C_1=80) \wedge (C_2=\text{比较合理}) \wedge (C_3=\text{比较合理})$  | $B_1=\{(\text{高},0.4)(\text{中},0.2)(\text{低},0.4)\}$ |

3) 计算匹配度与激活度。利用式(4)、式(5)计算输入对每条规则归一化后的激活程度，可得  $\omega_{17}=0.579$ ， $\omega_{18}=0.145$ ， $\omega_{19}=0.0620$ ， $\omega_{20}=0.193$ ， $\omega_{21}=0.0210$ ， $\mu_{17}=1$ ， $\mu_{18}=1$ ， $\mu_{19}=1$ ， $\mu_{20}=1$ ， $\mu_{21}=1$ 。

4) 证据组合。将以上数据代入式(6)、式(7)，计算可得  $B_{1甲}(\text{高},\text{中},\text{低})$  等级的置信度值为 (0.680 2, 0.117 4, 0.202 4)。

### 3.2 计算整体安全文化建设水平

按以上步骤计算甲单位的安全制度建设水平  $B_{2甲}(\text{高},\text{中},\text{低})=(0.6419, 0.2197, 0.1384)$ ，活动组织水平  $B_{3甲}(\text{高},\text{中},\text{低})=(0.5018, 0.2736, 0.2246)$ ，物质保障水平  $B_{4甲}(\text{高},\text{中},\text{低})=(0.6527, 0.1665, 0.1808)$ 。由于数据量较大，可利用软件实现，安全文化建设水平  $A_{甲}(\text{高},\text{中},\text{低})=(0.5503, 0.2339, 0.2158)$ 。

同理，可计算出乙部队的安全理念塑造水平  $B_{1乙}(\text{高},\text{中},\text{低})=(0.3888, 0.1516, 0.4596)$ ，安全制度建设水平  $B_{2乙}(\text{高},\text{中},\text{低})=(0.3815, 0.2560, 0.3624)$ ，安全活动组织水平  $B_{3乙}(\text{高},\text{中},\text{低})=(0.3556, 0.3227, 0.3217)$ ，安全物质保障水平  $B_{4乙}(\text{高},\text{中},\text{低})=(0.3817, 0.2377, 0.3805)$ ，安全文化建设水平  $A_{乙}(\text{高},\text{中},\text{低})=(0.4508, 0.2955, 0.2538)$ 。

表 5 优化后的置信规则库

| 编号 | 权重   | 前提条件   | 结论  |
|----|------|--|---|
| 1  | 0.51 | $(B_1=100) \wedge (B_2=100) \wedge (B_3=100) \wedge (B_4=100)$     | $A=\{(\text{高},0.99)(\text{中},0)(\text{低},0.01)\}$    |
| 2  | 0.78 | $(B_1=92.3) \wedge (B_2=77.9) \wedge (B_3=98.6) \wedge (B_4=73.6)$ | $A=\{(\text{高},0.76)(\text{中},0)(\text{低},0.24)\}$    |
| 3  | 0.40 | $(B_1=79.8) \wedge (B_2=65.7) \wedge (B_3=82.7) \wedge (B_4=61.9)$ | $A=\{(\text{高},0)(\text{中},0.47)(\text{低},0.53)\}$    |
| 4  | 0.61 | $(B_1=60.3) \wedge (B_2=77.3) \wedge (B_3=96.4) \wedge (B_4=95.6)$ | $A=\{(\text{高},0.11)(\text{中},0.23)(\text{低},0.66)\}$ |
| 5  | 0.80 | $(B_1=60) \wedge (B_2=60) \wedge (B_3=60) \wedge (B_4=60)$         | $A=\{(\text{高},0)(\text{中},0.15)(\text{低},0.85)\}$    |

分析图 4 和图 5，横向比较时：甲、乙之间优化的评估结果差异由原来的 3.576 扩大为 8.372，优化后的置信规则库对输入信息的集成更加敏感，评估结果能够呈现出明显的优劣层次。纵向上分析，甲单位的评估结果较原来有下降 1.814，乙单位的评

估结果较原来下降 6.610，说明优化后的置信规则库对输入信息的集成能力更强，对同一指标的优劣分辨能力更强。从规则库的规模看，从原来的 71 条规则降低到 19 条，规则库缩减 73.2%，使评估结果更准确，同时也降低了计算量，提高了评估效率。

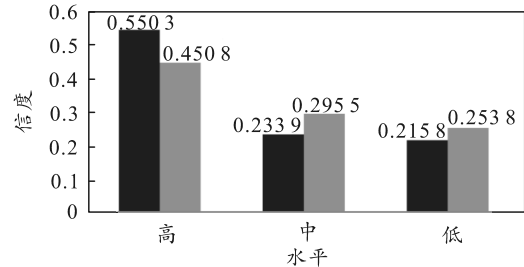


图 3 甲、乙安全文化建设水平置信度分布

通过图可以看出，甲单位安全文化建设评估结果优于乙单位。这是因为甲单位的底层指标明显优于乙单位，理论上讲评估结果之间差距应比较明显，但当构建的指标体系过于复杂时，置信规则库中的规则权重、前提属性和置信度等参数的给定不够精确，最终导致得到的结果不准确，这需要对置信规则库进一步训练优化。

### 3.3 安全文化建设水平评估模型优化

运用 2.2 节所述方法，利用 Matlab 编程，对表 2 的置信规则库进行逐层优化，建立新的置信规则库。根据规则库的复杂程度和评估指标的规模，以最上层(B 到 A 规则库)优化为例，设置优化代数为 2000，规则库规模为 5，为简化计算，设安全文化的高、中、低分别为 100、80、60，优化后的规则库如表 5 所示。

同理，可以得到该模型全部的优化规则。用优化后的规则库对甲、乙部队安全文化建设水平重新评价结果如图 4 所示，对比优化前后的效用值如图 5 所示。

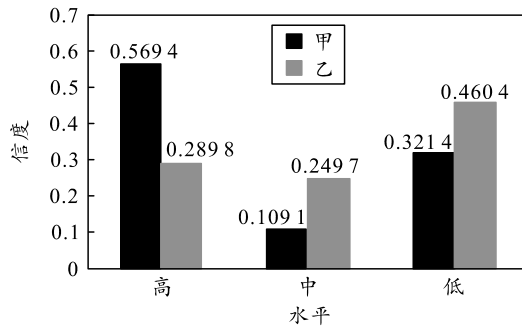


图 4 优化后安全文化建设水平置信度分布

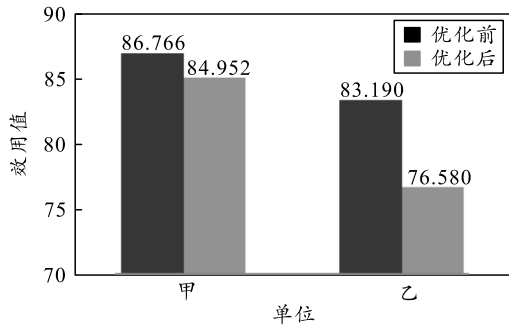


图 5 优化前后安全文化建设水平评估效应值

#### 4 结束语

笔者将历史数据与专家经验加以融合，建立基于置信规则库的评估模型。通过实例评估以及结果分析，得到以下结论：

1) 基于证据推理的评估方法能够有效处理评估过程面临的信息不确定性以及定性指标与定量指标同时存在的问题。通过置信度分布刻画安全文化建设水平更加贴近部队安全文化建设的实际情况。

2) 通过对置信规则库的优化，可以有效降低规则库的规模，提高输入信息的集成和分辨能力，使评估结果对输入信息的变化更加敏感，从而获得更加准确的评估结果。

3) 研究重点在实现安全文化建设水平量化表达上，而在对安全文化建设中存在的薄弱环节需要进行深入研究。

#### 参考文献：

[1] 欧明宽, 刘帆. 基层部队安全稳定工作百问[M]. 北京: 海潮出版社, 2008: 323-326.

[2] 刘鸣高. 加强部队安全文化建设若干思考[J]. 国防, 2012(2): 39-41.

[3] 蒋清江, 夏洪波. 浅谈军营安全文化视野下的安全管理[J]. 党史文苑, 2013(18): 69-70.

[4] 王振华, 周华. 培育军营安全文化 促进部队安全发展[J]. 政工学刊, 2009(6): 68-69.

[5] 徐东磊, 郭晨. 建好安全文化载体 提升安全工作效益

[J]. 政工学刊, 2017(7): 69-70.

[6] 宋新明, 居勇, 曾鸣, 等. 基于神经网络的供电企业安全文化评价研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2009, 5(4): 55-59.

[7] 王安. 安全发展与预防事故[M]. 北京: 长征出版社, 2007: 44-134.

[8] 韩涛, 王邵明. 军营安全文化建设[M]. 北京: 长征出版社, 2009: 67-155.

[9] 郝锋, 梅振国, 肖鹏. 基于加权平均模型的部队安全文化评估研究[J]. 科技信息, 2010(1): 122, 160.

[10] 庞煜. 基于可能性理论和格论的系统可靠性分析[D]. 成都: 电子科技大学, 2012.

[11] 韩润繁, 陈桂明, 孟岩磊, 等. 基于置信规则库的海基系统性能退化机理分析与预测[J]. 控制与决策, 2017, 33(2): 125-134.

[12] YANG J B, XU D L. On the evidential reasoning algorithm for multiple attribute decision analysis under uncertainty[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2002, 32(3): 289-304.

[13] YANG J B, LIU J, WANG J, et al. Belief rule-based inference methodology using the evidential reasoning approach-RIMER[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-part A: Systems and Humans, 2006, 36(2): 266-285.

[14] CHEN S M, HSIAO W H. Bidirectional approximate reasoning for rule-based systems using interval-valued fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 113(2): 185-203.

[15] VIAENE S, WETS G, VAN THIENEN J. A synthesis of fuzzy rule-based system verification[J]. The 1998 IEEE International Conference, 2000, 113(2): 253-265.

[16] BEYNON M. DSAHP method: a mathematical analysis, including an understanding of uncertainty[J]. Systems Engineering, 2002, 140(13): 148-164.

[17] 郭小川, 陈桂明, 常雷雷, 等. 基于 DoDAF 与 RIMER 的导弹预警反击作战体系效能评估[J]. 电光与控制, 2017, 24(6): 28-33.

[18] YANG J B. Rule and utility based evidential reasoning approach for multi-attribute decision analysis under uncertainties[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 131(1): 31-61.

[19] 周志杰, 杨剑波, 胡昌华, 等. 置信规则库专家系统与复杂系统建模[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 1-45.

[20] 张勤莉, 胡蓉, 周志杰, 等. 差分进化算法的置信规则库参数优化[J]. 控制工程, 2019, 26(3): 555-559.

[21] 孙建彬, 常雷雷, 谭跃进, 等. 基于双层模型的置信规则库参数与结构联合优化方法[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(4): 983-993.

[22] 周志杰, 陈玉旺, 胡昌华, 等. 证据推理、置信规则库与复杂系统建模[M]. 北京: 科学出版社, 2017: 60-70.