

doi: 10.7690/bgzd.2020.07.015

阵地建设工程装备保障能力评估

刘汉增, 陈桂明, 蔺志强, 常雷雷

(火箭军工程大学作战保障学院, 西安 710025)

摘要: 为研究阵地建设工程装备保障能力评估的问题, 找到与担负建设任务保障能力需求的差距, 在构建指标体系的基础上, 建立基于置信规则库的装备保障能力评估模型, 解决带有模糊不确定性、概率不确定性以及非线性特征的底层指标聚集和证据推理问题。针对底层指标增多而出现组合指数增多的问题, 提出基于并集假设的置信规则库推理模型。研究表明: 基于置信规则库的工程装备保障能力评估模型, 能很好糅合多属性底层指标、缩小置信规则库规模、降低评估过程复杂度, 减少底层指标在逐层聚集过程中信息衰减问题。

关键词: 阵地建设; 工程装备; 置信规则库; 保障能力; 评估

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Support Capability Assessment for Engineering Equipment of Position Construction

Liu Hanzeng, Chen Guiming, Lin Zhiqiang, Chang Leilei

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

Abstract: In order to study the evaluation of engineering equipment support capability of position construction and find out the gap between the requirement of equipment support capability of undertaking construction task. Based on the construction of index system, the evaluation model of equipment support capability based on belief rule base is established to solve the aggregation and evidence reasoning problems of fuzzy uncertainty, probability uncertainty and non-linear characteristics layer index. Aiming at the problem of increasing combination index with the increase of underlying indexes, a reasoning model of belief rule base based on union hypothesis is proposed. The result shows that the evaluation model of engineering equipment support capability based on belief rule base can well integrate multi-attribute bottom indicators, reduce the scale of belief rule base, reduce the complexity of evaluation process, and reduce the information attenuation problem of bottom indicators in the process of layer-by-layer aggregation.

Keywords: position construction; engineering equipment; belief rule base; support capability; assessment

0 引言

阵地建设作为国防建设的重要组成部分, 是工程技术应用于军事领域的具体体现。其建设成果能为部队平时训练和战时遂行任务提供基本依托, 对部队战斗力生成和提升起着关键的影响和制约作用, 甚至影响未来实战中战略战术的运用和战争的胜负^[1-2]。阵地建设工程装备是工程部队为完成阵地建设任务所使用的机械和设备的统称。按照装备使用主体性质, 分为土建类和安装类 2 种。其中土建类工程装备主要功能是为构建阵地主体工程而进行土石方开挖掘进、断面支护以及衬砌等施工项目, 安装类装备主要功能是为保障战备训练、作战行动和人员生存的环境条件而进行的暖通系统、给排水系统、电气系统安装以及阵地的装饰装修。

作为阵地建设体系重要组成部分, 工程装备保

障能力是在整个施工过程中为阵地建设中各施工项目顺利进行贡献能力的度量, 是阵地建设过程中涉及装备的人、物、环境等因素的综合衡量, 涉及到装备的指挥协调、操作使用、技术保障和供应保障方面的建设程度, 与编制体制、人员能力、装备性能、维修能力以及备品备件等有关, 其底层指标种类多、数量大以及指标间关联性的特点导致装备保障能力评估方面的研究较少^[3-4]。笔者针对工程装备保障能力评估中底层指标多样性和不确定性的问题, 提出基于置信规则库 (belief rule base, BRB) 进行证据推理的评估方法。为有效解决底层指标增多导致规则指数增长的问题, 在交集假设的基础上, 提出并集假设的置信规则库, 缩小 BRB 的规模, 简化证据推理。最后以某在建阵地为例, 构建出工程装备保障能力评估模型, 采用交集和并集 2 种假设, 验证方法的可行性^[5-6]。

收稿日期: 2020-03-04; 修回日期: 2020-04-18

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。

1 阵地建设工程装备保障能力评估模型

阵地建设装备保障能力评估解决的是各种因素如何影响装备保障能力的问题，是对各类别不同指标进行分析、聚集和推理的过程，需要综合衡量模糊条件下多种类型的底层指标信息。主要面临 2 个问题：1) 指标类型多样，既有定性因素，又有定量因素；2) 指标的模糊性，通过文字描述指标信息，比数字信息模糊，或是因人员参与的原因导致不确定因素增加^[7]。笔者采用置信规则库的信度结构来描述指标的不确定性和不完整的专家经验与历史数据。通过“if-then”规则形式糅合多种不确定信息，利用证据推理(evidential reasoning, ER)算法完成信息的推理与集成，在复杂系统的建模和分析中非常重要^[8]。

阵地建设工程装备保障能力评估模型的构建分为 5 个步骤：

1) 建立置信规则库。

置信规则库是由“if-then”规则表示，每条规则具有相同的信度结构，其中规则库中第 k 条置信规则表示为：

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

其中： T_k 为前提条件的个数； β_{ik} 为第 k 条规则前提条件成立时结论为 r_i 的信度，且有 $\sum_{i=1}^L \beta_{ik} \leq 1$ 。当 $\sum_{i=1}^L \beta_{ik} = 1$ 时，第 k 条规则是完整的，否则第 k 条规则不完整，特别是当 $\sum_{i=1}^L \beta_{ik} = 0$ 时，第 k 条规则输出完全未知。

2) 置信规则匹配度计算。

带有信度的数据对能力匹配程度计算方法为：

$$T(x_i, \varepsilon_i) = \{(A_{ij}, a_{ij}); i=1, 2, \dots, I, j=1, 2, \dots, |A_i|\}, \\ a_{ij} = \left(\varphi(x_i, A_{ij}) \varepsilon_i \right) / \sum_{|A_i|} \varphi(x_i, A_{ij}). \quad (2)$$

其中： a_{ij} ($a_{ij} \in [0, 1]$) 为输入 x_i 匹配能力 c_i 的第 j 个取值 A_{ij} 的程度； $|A_i|$ 为信度规则 c_i 前提条件的数量； $\varphi(x_i, A_{ij})$ 为 x_i 与 A_{ij} 的相似程度。根据指标类型和特点的不同， $\varphi(x_i, A_{ij})$ 的计算方法有以下 2 种：

① 当前提属性为离散数值时，

$$\varphi(x_i, A_{ij}) = \begin{cases} (A_{i(k+1)} - x_i) / (A_{i(k+1)} - A_{ik}) & j=k (A_{ik} \leq x_i \leq A_{i(k+1)}) \\ (x_i - A_{ik}) / (A_{i(k+1)} - A_{ik}) & j=k+1 \\ 0 & j=1, 2, \dots, |A_i|, j \neq k, k+1 \end{cases}. \quad (3)$$

② 当输入值为定性指标时，

$$a_{ij} = \varepsilon_i. \quad (4)$$

3) 规则激活权重计算。

规则激活是指待评估的工程装备的各底层指标输入信息与置信规则库中规则进行匹配，根据匹配程度给相应的规则赋予一定权重。由式(2)，设输入对应于第 k 条规则依次转换成 $(A_1^k, \alpha_1^k), (A_2^k, \alpha_2^k), \dots, (A_{T_k}^k, \alpha_{T_k}^k)$ 。当所有前提条件都用“ \wedge ”连接时，有

$$\omega_k = \theta_k \prod_{i=1}^{T_k} (\alpha_i^k)^{\bar{\delta}_{ki}} / \sum_{i=1}^L \theta_i \alpha_i, \quad \text{其中 } \bar{\delta}_{ki} = \delta_{ki} / \max\{\delta_{ki}\}. \quad (5)$$

其中： θ_k, θ_i 分别为第 k 条和第 i 条规则的相对权重； α_k 为输入匹配第 k 条规则的程度； $\bar{\delta}_{ki}$ 为第 k 条规则中第 i 个前提条件的权重， $\bar{\delta}_{ki} \in (0, 1], \alpha_i^k \in [0, 1], \alpha_k \leq \min_{i=1, 2, \dots, T_k} \{\alpha_i^k\}$ 。

4) 基于 ER 算法的证据集成。

采用 ER 算法集成激活的规则，ER 算法如式(6)和式(7)所示：

$$\mu = \left[\sum_{n=1}^N \prod_{k=1}^L (\omega_k \beta_{n,k} + 1 - \omega_k \sum_{n=1}^N \beta_{n,k}) - (N-1) \prod_{k=1}^L (1 - \omega_k \sum_{n=1}^N \beta_{n,k}) \right]^{-1}; \quad (6)$$

$$\beta_i = \frac{\mu \left[\prod_{k=1}^L (\omega_k \beta_{ik} + 1 - \omega_k \sum_{n=1}^N \beta_{ik}) - \prod_{k=1}^L (1 - \omega_k \sum_{n=1}^N \beta_{ik}) \right]}{1 - \mu \left[\prod_{k=1}^L (1 - \omega_k) \right]}. \quad (7)$$

其中： β_i 为相对于评价结果的置信度； ω_k 为第 k 条规则的激活权重； β_{ik} 为第 k 条规则中第 i 个结论的置信度； N 为规则结论数量； K 为规则数量； μ 为修正因子。

2 基于并集假设的置信规则库优化模型

阵地建设工程装备保障能力评估过程中，当底层指标数量较多时，置信规则的数量会呈现指数增长，导致出现输入信息作用衰减和输出结果失真的问题。根据装备保障能力评估模型特点，拟在并集假设条件下构建装备评估模型。

在并集假设条件下，置信规则库中的第 k 条规则表示为：

$$R_k : \text{if } x_1 = A_1^K \vee x_2 = A_2^K \vee \dots \vee x_M = A_M^K, \\ \text{then } \{(D_1, \beta_{1k}), (D_2, \beta_{2k}), \dots, (D_N, \beta_{Nk})\}. \quad (8)$$

其中：“∨”表示各前提属性之间为并集关系，在规则中只需其中任一条件满足要求，对应的规则即被激活。

假设置信规则库有 2 个前提属性 A 和 B ，取值分别为 A_1, A_2, A_3 和 B_1, B_2, B_3 。如图 1(a)所示，在交集假设条件下，其置信规则库中有 $A_i B_j (i=1, 2, 3; j=1, 2, 3)$ 共 9 条规则。如图 1(b)所示，在并集假设条件下，其置信规则库中有 $A_i B_j (i=1, 2, 3)$ 共 3 条规则。图 1(b)中的 $A_3 B_3$ 在 x 轴上的投影 $A_3 B'_3$ 与图 1(a)中的 $A_3 B_1$ 相同，即在并集假设条件下的规则 $A_3 B_3$ 包含交集假设中的 $A_3 B_1$ 规则，以此类推。图 1(a)中交集假设下的 9 条规则均包含在图 1(b)中的 3 条规则在 x 和 y 轴的投影中，即表示在并集假设下的置信规则库中包含了交集假设条件下置信规则库中的信息，且并集规则库中的规则数量明显减少。

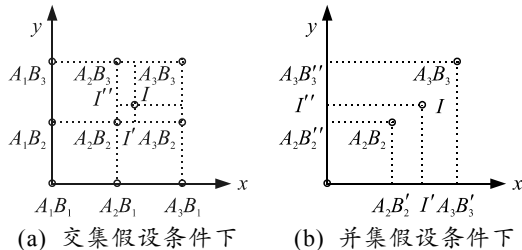


图 1 交集与并集条件下置信规则库中规则

假设输入信息 $I=(I', I'')$ ，其中 I' 、 I'' 分别为该点在 x 、 y 轴上的投影。根据图 1(b)显示，输入信息 I 在 x 轴上激活规则 ($A_2 B'_2$ 和 $A_3 B'_3$)，在 y 轴上激活规则 ($A_2 B''_2$ 和 $A_3 B''_3$)。在并集假设下，规则激活权重公式修正为：

$$\omega_k = \theta_k \sum_{i=1}^M \alpha_i^k / \left(\sum_{i=1}^L \theta_i \sum_{i=1}^M \alpha_i^i \right) \quad (9)$$

其中： ω_k 为输入信息对第 k 条规则的激活权重； θ_k 为第 k 条规则的相对权重； α_i^k 为输入信息匹配第 k

条规则的程度。对应的匹配度计算方法如下：

$$h_i^k = \bar{\delta}_{ki} \times \alpha_i^k, \quad \alpha_{k(1)} = h_i^k, \\ \alpha_{k(i+1)} = \alpha_{k(i)} + (1 - \alpha_{k(i)}) h_{i+1}^k, \quad \alpha_k = \alpha_{k(T_k)} \quad (10)$$

3 工程装备保障能力评估实例分析

3.1 确定工程装备保障能力评估指标体系

由于工程装备种类繁多、属性复杂，对土建类装备和安装类装备而言，称谓有所不同，但内容上你中有我，我中有你，相互包涵，导致构建出的指标体系指标相互兼容，不能够得到科学合理的工程装备保障能力的实际情况。对于指标构建存在的问题，提出了目标分解的研究思路如图 2^[9]所示。

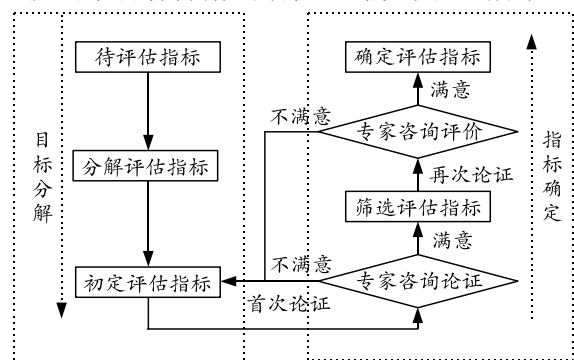


图 2 评估指标体系构建思路

首先，根据阵地建设工程装备保障能力评估的总目标，从涉及影响装备保障能力的组织机构、各类人员、物资装备和器材保障等因素出发，考虑各因素之间相互制约、相互影响的关系，确定初步的可直接评价的具体指标；其次，运用专家评价法，对初步建立的指标体系进行调查论证，判定指标体系的科学性和可行性；最后，运用调查统计法，对首次论证后指标的重要性进行筛选，经专家再次论证后，确定工程装备保障能力评估指标体系^[10]如图 3 所示。

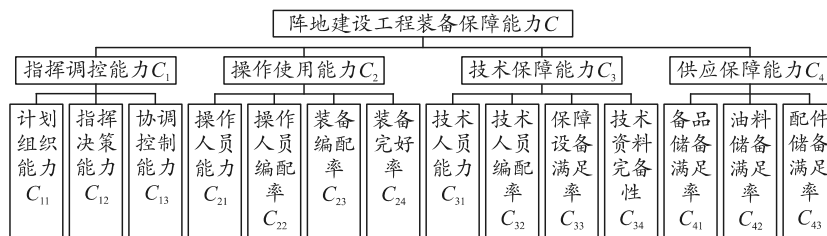


图 3 阵地建设工程装备保障能力评估指标体系

3.2 交集假设条件下的装备保障能力分析

以某在建阵地工程装备保障能力为研究对象，说明该指标体系和评估方法的应用。为简化计算，假定各输入指标的相对权重相等，置信规

则库中各规则的权重也相等。根据历史数据分析、调研结果和专家经验，工程装备保障能力各指标的取值如表 1，在交集假设条件下构建的置信规则库如表 2。

表 1 指标取值

编码	指标名称	指标取值	编码	指标名称	指标取值
C	装备保障能力	(满足, 基本满足, 不满足)	C ₂₃	装备编配率	(60%, 80%, 100%)
C ₁	指挥协调能力	(强, 中, 弱)	C ₂₄	装备完好率	(60%, 80%, 100%)
C ₂	操作使用能力	(强, 中, 弱)	C ₃₁	技术人员能力	(强, 中, 弱)
C ₃	技术保障能力	(强, 中, 弱)	C ₃₂	技术人员编配率	(60%, 80%, 100%)
C ₄	供应保障能力	(强, 中, 弱)	C ₃₃	保障设备满足率	(60%, 80%, 100%)
C ₁₁	计划组织能力	(强, 中, 弱)	C ₃₄	技术资料完备性	(60%, 80%, 100%)
C ₁₂	指挥决策能力	(强, 中, 弱)	C ₄₁	备品储备满足率	(60%, 80%, 100%)
C ₁₃	协调控制能力	(强, 中, 弱)	C ₄₂	油料储备满足率	(60%, 80%, 100%)
C ₂₁	操作人员能力	(强, 中, 弱)	C ₄₃	配件储备满足率	(60%, 80%, 100%)
C ₂₂	操作人员编配率	(60%, 80%, 100%)			

表 2 交集假设下工程装备保障能力评估规则库

序号	前提条件	结论
1	(C ₁ =强)∧(C ₂ =强)∧(C ₃ =强)∧(C ₄ =强)	C=(强,1)(中,0)(弱,0)
2	(C ₁ =强)∧(C ₂ =强)∧(C ₃ =强)∧(C ₄ =中)	C=(强,0.9)(中,0.1)(弱,0)
3	(C ₁ =强)∧(C ₂ =强)∧(C ₃ =强)∧(C ₄ =弱)	C=(强,0.8)(中,0.1)(弱,0.1)
4	(C ₁ =强)∧(C ₂ =强)∧(C ₃ =中)∧(C ₄ =中)	C=(强,0.7)(中,0.3)(弱,0)
5	(C ₁ =强)∧(C ₂ =强)∧(C ₃ =中)∧(C ₄ =弱)	C=(强,0.6)(中,0.3)(弱,0.1)
6	(C ₁ =强)∧(C ₂ =强)∧(C ₃ =弱)∧(C ₄ =中)	C=(强,0.5)(中,0.5)(弱,0)
7	(C ₁ =强)∧(C ₂ =强)∧(C ₃ =弱)∧(C ₄ =弱)	C=(强,0.5)(中,0.4)(弱,0.1)
8	(C ₁ =强)∧(C ₂ =中)∧(C ₃ =强)∧(C ₄ =强)	C=(强,0.7)(中,0.3)(弱,0)
9	(C ₁ =强)∧(C ₂ =中)∧(C ₃ =强)∧(C ₄ =中)	C=(强,0.6)(中,0.4)(弱,0)
10	(C ₁ =强)∧(C ₂ =中)∧(C ₃ =强)∧(C ₄ =弱)	C=(强,0.6)(中,0.3)(弱,0.1)
11	(C ₁ =强)∧(C ₂ =中)∧(C ₃ =中)∧(C ₄ =中)	C=(强,0.7)(中,0.3)(弱,0.1)
12	(C ₁ =强)∧(C ₂ =中)∧(C ₃ =中)∧(C ₄ =弱)	C=(强,0.6)(中,0.4)(弱,0)
13	(C ₁ =强)∧(C ₂ =中)∧(C ₃ =弱)∧(C ₄ =中)	C=(强,0.6)(中,0.3)(弱,0.1)
14	(C ₁ =强)∧(C ₂ =中)∧(C ₃ =弱)∧(C ₄ =弱)	C=(强,0.5)(中,0.3)(弱,0.2)
15	(C ₁ =强)∧(C ₂ =弱)∧(C ₃ =中)∧(C ₄ =中)	C=(强,0.5)(中,0.4)(弱,0.1)
16	(C ₁ =强)∧(C ₂ =弱)∧(C ₃ =中)∧(C ₄ =弱)	C=(强,0.5)(中,0.3)(弱,0.2)
∴	∴	∴
141	(C ₄₁ =60%)∧(C ₄₂ =60%)∧(C ₄₃ =60%)	C ₄ =(强,0)(中,0)(弱,1)

经考核调查, 该在建阵地工程装备保障能力底层指标输入为: C={C₁₁=(强,0.8)(中,0.2), C₁₂=(强,0.9)(中,0.1), C₁₃=(中,1), C₂₁=(强,1), C₂₂=(90%,1), C₂₃=(85%,1), C₂₄=(80%,1), C₃₁=(强,0.7)(中,0.3), C₃₂=(85%,1), C₃₃=(90%,1), C₃₄=(95%,1),

C₄₁=(80%,1), C₄₂=(90%,1), C₄₃=(85%,1)}。

以操作使用能力 C₂ 为例, 演示计算过程。由输入 C₂₁=(强,1), C₂₂=(90%,1), C₂₃=(85%,1), C₂₄=(92%,1)可知, 激活规则如表 3 所示。

表 3 操作使用能力输入激活规则

序号	前提条件	结论
57	(C ₂₁ =强)∧(C ₂₂ =1)∧(C ₂₃ =1)∧(C ₂₄ =1)	C=(强,1)
58	(C ₂₁ =强)∧(C ₂₂ =1)∧(C ₂₃ =1)∧(C ₂₄ =0.8)	C=(强,0.8)(中,0.2)
60	(C ₂₁ =强)∧(C ₂₂ =1)∧(C ₂₃ =0.8)∧(C ₂₄ =0.8)	C=(强,0.7)(中,0.3)
64	(C ₂₁ =强)∧(C ₂₂ =0.8)∧(C ₂₃ =1)∧(C ₂₄ =1)	C=(强,0.8)(中,0.2)
65	(C ₂₁ =强)∧(C ₂₂ =0.8)∧(C ₂₃ =1)∧(C ₂₄ =0.8)	C=(强,0.7)(中,0.3)
66	(C ₂₁ =强)∧(C ₂₂ =0.8)∧(C ₂₃ =0.8)∧(C ₂₄ =0.8)	C=(强,0.6)(中,0.3)(弱,0.1)

输入数据, 计算相似度。将输入信息代入式(3)、式(4), 可得 φ₁(强,强)=1, φ₂(90%,100%)=0.5, φ₂(90%,80%)=0.5, φ₃(85%,100%)=0.25, φ₃(85%,80%)=0.75, φ₄(92%,80%)=0.4, φ₄(92%,100%)=0.6。

计算规则激活权重。根据式(5)计算输入对第 k 条规则的激活权重, 经归一化后得 ω₅₇=0.136, ω₅₈=0.091, ω₆₀=0.273, ω₆₄=0.136, ω₆₅=0.091, ω₆₆=0.273。

证据集成。将以上数据代入式(6)、式(7), 可计算出 C₂(强, 中, 弱)的置信度值为(0.562 2, 0.250 6, 0.187 2)。

同理, 由以上步骤可以求出 C₁、C₃、C₄ 置信度值, 进一步求得在交集假设下的装备保障能力 C(满足, 基本满足, 不满足)=(0.531 9, 0.300 2, 0.167 9)。

3.3 并集假设条件下的装备保障能力分析

根据专家经验和历史数据分析, 构建并集假设条件下装备保障能力评估置信规则库如表 4 所示。

表 4 并集假设条件下的装备保障能力评估规则库

序号	前提条件	结论
1	$(C_1=强) \vee (C_2=强) \vee (C_3=强) \vee (C_4=强)$	$C=(强,1)(中,0)(弱,0)$
2	$(C_1=中) \vee (C_2=中) \vee (C_3=中) \vee (C_4=中)$	$C=(强,0.3)(中,0.6)(弱,0.1)$
3	$(C_1=弱) \vee (C_2=弱) \vee (C_3=弱) \vee (C_4=弱)$	$C=(强,0)(中,0)(弱,1)$
4	$(C_{11}=强) \vee (C_{12}=强) \vee (C_{13}=强)$	$C=(强,1)(中,0)(弱,0)$
5	$(C_{11}=中) \vee (C_{12}=中) \vee (C_{13}=中)$	$C=(强,0.5)(中,0.4)(弱,0.1)$
6	$(C_{11}=弱) \vee (C_{12}=弱) \vee (C_{13}=弱)$	$C=(强,0)(中,0)(弱,0.1)$
7	$(C_{21}=强) \vee (C_{22}=100\%) \vee (C_{23}=100\%) \vee (C_{24}=100\%)$	$C=(强,1)(中,0)(弱,0)$
8	$(C_{21}=中) \vee (C_{22}=80\%) \vee (C_{23}=80\%) \vee (C_{24}=80\%)$	$C=(强,0.6)(中,0.2)(弱,0.2)$
9	$(C_{21}=弱) \vee (C_{22}=60\%) \vee (C_{23}=60\%) \vee (C_{24}=60\%)$	$C=(强,0)(中,0)(弱,1)$
10	$(C_{31}=强) \vee (C_{32}=100\%) \vee (C_{33}=100\%) \vee (C_{34}=100\%)$	$C=(强,1)(中,0)(弱,0)$
11	$(C_{31}=中) \vee (C_{32}=80\%) \vee (C_{33}=80\%) \vee (C_{34}=80\%)$	$C=(强,0.2)(中,0.6)(弱,0.2)$
12	$(C_{31}=弱) \vee (C_{32}=60\%) \vee (C_{33}=60\%) \vee (C_{34}=60\%)$	$C=(强,0)(中,0)(弱,1)$
13	$(C_{11}=100\%) \vee (C_{12}=100\%) \vee (C_{13}=100\%)$	$C=(强,1)(中,0)(弱,0)$
14	$(C_{11}=80\%) \vee (C_{12}=80\%) \vee (C_{13}=80\%)$	$C=(强,0.4)(中,0.4)(弱,0.2)$
15	$(C_{11}=60\%) \vee (C_{12}=60\%) \vee (C_{13}=60\%)$	$C=(强,0)(中,0)(弱,1)$

同理，以操作使用能力 C_2 为例，演示计算过程。由输入 $C_{21}=(强,1)$ ， $C_{22}=(90\%,1)$ ， $C_{23}=(85\%,1)$ ， $C_{24}=(92\%,1)$ 可知，激活规则如表 5 所示。

表 5 操作使用能力输入激活规则

序号	前提条件	结论
7	$(C_{21}=强) \vee (C_{22}=100\%) \vee (C_{23}=100\%) \vee (C_{24}=100\%)$	$C=(强,1)(中,0)(弱,0)$
8	$(C_{21}=中) \vee (C_{22}=80\%) \vee (C_{23}=80\%) \vee (C_{24}=80\%)$	$C=(强,0.6)(中,0.2)(弱,0.2)$

相似度计算与交集假设下相同，此处不再重复。计算规则激活权重：根据式(9)计算输入对第 k 条规则的激活权重，经归一化后得 $\omega_7=0.574 2$ ， $\omega_8=0.425 8$ 。证据集成。将以上数据代入式(6)、式(7)，可计算出 $C_2(强,中,弱)$ 的置信度值为(0.571 4, 0.238 1, 0.190 5)。

同理，根据以上步骤可以求出 C_1 、 C_3 、 C_4 的置信度值，进一步求得在交集假设下的装备保障能力 $C(满足,基本满足,不满足)=(0.755 6, 0.136 8, 0.107 7)$ 。

3.4 多对象评估结果分析

假定有多个评估对象(在建阵地)待评估，需要区分各评估对象并进行排名。其中： A_1 为原评估

对象， A_2 与 A_1 相比， $C_{11}=(中,1)$ ， $C_{12}=(强,0.2)(中,0.8)$ ， $C_{13}=(中,0.6)(弱,0.4)$ ，其他不变； A_3 与 A_1 相比， $C_{21}=(中,0.5)(弱,0.5)$ ， $C_{22}=(70\%,1)$ ， $C_{23}=(65\%,1)$ ， $C_{24}=(70\%,1)$ ，其他不变。通过软件计算，得到交集和并集假设下的对比结果如图 4—6 和表 6 所示。

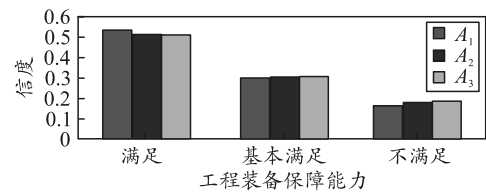


图 4 交集条件下工程装备保障能力评估结果对比

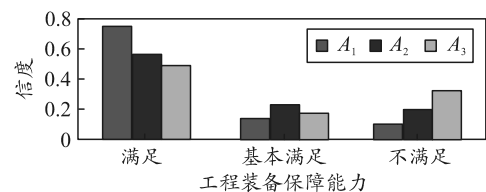


图 5 并集条件下工程装备保障能力评估结果对比

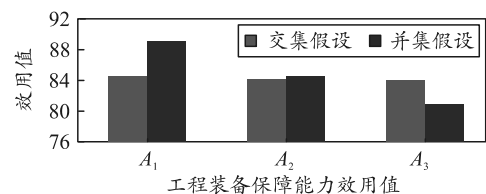


图 6 工程装备保障能力效用值对比

表 6 交集和并集假设下评估结果对比

评估对象	交集假设				排名	并集假设				排名
	满足	基本满足	不满足	效用值		满足	基本满足	不满足	效用值	
A_1	0.531 9	0.300 2	0.167 9	84.620 5	1	0.755 6	0.136 8	0.107 7	89.188 0	1
A_2	0.517 9	0.303 9	0.178 3	84.210 5	2	0.567 6	0.233 9	0.198 4	84.538 0	2
A_3	0.511 4	0.306 8	0.181 7	84.029 0	3	0.495 3	0.176 6	0.328 1	80.867 5	3

从评估结果可以看出：3 个在建阵地在交集假设与并集假设下进行装备保障能力评估结果排名顺序一致， A_1 代表的阵地建设工程装备保障能力最优， A_2 次之， A_3 最差。但 2 种假设条件下的评估结

果也存在一定差异：在交集假设下得到的评估结果差异性不明显，其中第 1 名 A_1 (84.620 5 分)与第 2 名 A_2 (84.210 5 分)之间仅差为 0.41 分，第 2 名 A_2 与第 3 名 A_3 (84.029 0 分)之间仅差 0.181 5 分，这样

的评估结果分差不大,在实际评估时说服能力不强,对决策者参考意义不大。实际上, A_1 阵地利用军民融合的便利,成建制地淘汰旧式施工装备,特别是更新了一批主战装备,同时因其工程的特殊性,上级机关特别派驻加强了原有的装备保障力量,相比 A_2 、 A_3 ,优势明显,但评估结果的有效性不强。而在并集假设下,第 1 名 A_1 与第 2 名 A_2 之间分差由原来的 0.41 扩大为 4.65,第 2 名 A_2 与第 3 名 A_3 之间分差由原来的 0.181 5 扩大为 3.670 5。同时,对比图 5 和图 6 可发现:在并集假设下,除了装备的整体保障能力区别明显之外,评估结果各结论的置信度分布也比较明显;因此,基于并集假设的置信规则库能够更好地利用多种输入信息进行证据集成,降低了交集假设下信息衰减的程度,最终得出辨识度较高的分析结果。

4 结束语

笔者提出基于置信规则库的阵地建设工程装备保障能力评估方法,首先运用目标分解法、专家评价法等方法,逐层构建起工程装备保障能力评估体系,然后分别在交集假设和并集假设下构建出置信规则库,采用证据推理的方法进行数据的推理与集成,完成了工程装备整体能力评估与分析。基于置信规则库的工程装备保障能力评估模型,能有效克服底层输入指标类型多样、评估信息不完全的问题,在融合历史经验、检测数据和专家知识的基础上,完成系统的整体评估。相较其他评估方法得到的单一数值的评估结果,运用笔者设计的评估模型和算法,能够得到需求满足程度分布的评估结论,更符合阵地装备建设的实际情况;并集假设下的证据推

理模型,不仅能有效缩减置信规则库的规模,降低模型优化的复杂度,而且还能减少在推理过程中的信息衰减,从而获得具有辨识度的分析评价结果。

参考文献:

[1] 谭可可,曲恩东,田庆龙,等. 导弹阵地工程建设大辞典[M]. 第二炮兵司令部工程部,2011: 41-42.

[2] 张小超. 工程装备作战效能评估的技术架构研究. 中国系统工程学会决策科学专业委员会. 决策科学与评价——中国系统工程学会决策科学专业委员会第八届学术年会论文集[C]//中国系统工程学会决策科学专业委员会. 北京: 中国系统工程学会,2009: 5.

[3] 吴春林,郭三学. 基于模糊层次分析法的反恐装备体系作战效能评估[J]. 装备环境工程,2018, 15(11): 129-133.

[4] 李宏伟,刘建永,白景波. 工程侦察装备体系效能评估框架研究[J]. 南京理工大学学报,2017, 41(3): 350-356, 370.

[5] 张杰,唐宏,苏凯. 效能评估方法研究[M]. 北京: 国防工业出版社,2016: 5-34.

[6] 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.

[7] 程贲,姜江,谭跃进,等. 基于证据推理的武器装备体系能力需求满足度评估方法[J]. 系统工程理论与实践,2011, 31(11): 2210-2216.

[8] 张思聪,谢新连,赵瑞嘉,等. 基于专家定权和证据推理的舰船“六性”评估[J]. 上海海事大学学报,2019, 40(1): 37-43, 110.

[9] 陆营波,钱晓超,陈伟,等. 数据驱动的装备效能评估模型构建方法研究[J]. 系统仿真学报,2018, 30(12): 4587-4594, 4601.

[10] 熊奇,陈桂明,张翀,等. 基于性能需求视角的导弹武器作战能力评估[J]. 兵工自动化,2018, 37(7): 74-78.

(上接第 55 页)

参考文献:

[1] 程斌,王惠源. 气体炮尼龙弹带设计有限元分析[J]. 兵器装备工程学报,2019, 40(3): 43-46, 51.

[2] 李博,熊超,邓辉咏,等. 碳纤维等级对迫击炮复合身管多目标优化设计的影响[J]. 工程塑料应用,2017, 45(12): 64-69.

[3] 胡任喜,康士廷. ANSYS18.0/LS-DYNA 非线性有限元分析实例指导教程[M]. 北京: 机械工业出版社,2018: 44-50.

[4] 穆磊金,俊陶,军文胡. 尼龙的压缩力学性能及本构模型研究[J]. 中国测试,2017, 43(11): 129-133.

[5] 顾文彬,赵有守,陶耀兴. 尼龙弹带坡膛挤进过程中应

力应变分析[J]. 弹道学报,1994(3): 5-13.

[6] 王璐,白泽文,李军,等. 远程火箭炮行驶过程振动边界条件分析方法[J]. 兵工自动化,2019, 38(1): 25-29.

[7] 杨雕,陈志坚,刘朋科,等. 某迫击炮身管寿命分析及预测[J]. 火炮发射与控制学报,2017, 38(4): 87-91.

[8] 徐鹏. 金属材料应变寿命曲线估算的新方法[D]. 南京: 南京航空航天大学,2012.

[9] 何健,马吉胜,吴大林,等. 空降自行火炮着陆过程平衡肘等效疲劳寿命分析[J]. 火炮发射与控制学报,2016, 37(1): 74-78.

[10] MIL-STD-1522A. Standard General Requirements for Safe Design and Operation of Space Pressurized Missiles and Space Systems[S]. US Government Printing Office: 1984.