

DOI: 10.20189/j.cnki.CN/61-1527/E.202601009

基于组合赋权与模糊综合评价的国防工程保障能力评估

许令亮, 王保成*, 樊宇韬, 赵沙乐, 何芳
(火箭军工程大学, 西安 710025)

摘要: 针对国防工程保障能力指标权重赋值缺乏合理性、受主客观因素影响较大、评估标准不统一以及评估过程缺乏透明度等问题, 结合多专家知识和客观数据分析, 提出多专家序-信息熵权组合法来确定体系中各个指标权重, 从而提高权重设定的准确性和科学性。在权重确定的基础上, 构建模糊综合评价模型, 处理不确定性或模糊性信息, 从定性和定量2个角度进行评估, 使得评估结果更加符合实际情况。实例仿真结果表明: 相比于传统多专家序法和信息熵权法, 提出的组合赋权法计算过程简单高效, 权重赋值更加合理, 为保障能力评估奠定了科学基础; 通过搭建的模糊综合评价模型, 从定性隶属度方面得出, 工程3最优、工程1次之、工程2属于差级, 从定量评价得分角度得出, 国防工程1~3的保障能力得分分别为90.865 3、56.678 3和91.472 4, 定性和定量分析结果相互印证, 整体评价结果和现实情况相符, 为国防工程保障能力的持续改进和决策支持提供了参考。

关键词: 国防工程; 保障能力; 多专家序-信息熵权组合法; 模糊综合评价

中图分类号: E917

文献标志码: A

开放科学标识码(OSID):

文章编号: 2097-2741(2026)01-0097-13



听语音
聊科研
与作者互动

国防工程是维护国家安全的重要基础设施, 其保障能力直接关系到国家的防御能力和战争潜力。通过评估国防工程保障能力, 可以明确各项资源的分布和利用情况, 及时发现资源配置中的不合理之处, 提高应对突发事件的能力, 确保国防工程在战时和平时都能发挥巨大作用^[1-3]。

国防工程保障能力评估作为复杂的系统工程问题, 国内外相关学者围绕指标体系构建、权重确定和评估方法3个核心环节开展了系列研究。在指标体系构建方面, Liu等^[4]针对传统人工评估方法对数据处理能力不足的问题, 构建了适应现代化军队需求的防空部队训练评估体系, 为实战化训练提供了科学指导; Tuncer等^[5]创新性地将模

糊规则系统引入防空威胁评估, 通过人机交互实现动态调优, 显著提升了传感器资源配置效率; 甄子清等^[6]针对现行主战舰艇经济性评价存在的财务维度单一、决策支持不足等问题, 提出基于统计分析与信息熵理论的综合评价体系构建框架, 研究表明, 该方法的多维度解析效能较传统财务评价模型提升58.4%, 为装备全寿命周期成本管控提供了包含技术状态、维护效能等非财务维度的决策支持工具。

在权重确定方法上, Nebati等^[7]提出一种球面模糊层次分析法和球面模糊组合距离评估框架, 并通过灵敏度分析验证了该方法在不同阈值参数和不同模糊加权方法下均具有较强鲁棒性, 可为

收稿日期: 2025-04-24

修回日期: 2025-08-29

录用日期: 2025-09-03

基金项目: 国家社会科学基金青年基金项目(2025SKJJD039); 国家自然科学基金青年基金项目(42301458)

第一作者: 许令亮(1994—), 男, 讲师, 博士, 主要从事体系效能评估研究。E-mail: wxxxll804@yeah.com

***通信作者:** 王保成(1980—), 男, 副教授, 主要从事保障能力评估研究。E-mail: wbc121121@163.com

引用格式: 许令亮, 王保成, 樊宇韬, 等. 基于组合赋权与模糊综合评价的国防工程保障能力评估[J]. 火箭军工程大学学报, 2026, 40(1): 97-109. XU Lingliang, WANG Baocheng, FAN Yutao, et al. Assessment of national defense engineering support capability based on combination weighting and fuzzy comprehensive evaluation[J]. Journal of Rocket Force University of Engineering, 2026, 40(1): 97-109.

国防企业数字化发展提供参考。汪涛等^[8]针对云模型在评估过程中容易出现雾化特性差、评估结果不能直接使用的问题,提出一种改进的高斯云模型,并传统云模型所得评估结果进行对比,证明了改进高斯云模型的可行性和有效性,为权重量化提供了新工具。孙旭涛等^[9]针对传统赋权方法存在主客观信息割裂、权重关联性过强及主观约束机制缺失等问题,提出主客观融合的最优权重求解框架,通过形式化建模将主观咨询约束分为边界约束、趋势约束和关联约束3种类型,创新性地建立调节因子动态约束模型,相较于传统乘法/加法合成方法,有效解决了复杂系统赋权过程中主观偏好与客观数据的协同优化难题。李皓等^[10]针对智能化战争场景,构建四维作战效能评估体系,突破性地提出双因子动态赋权模型并设计了基于置信度分布规则的决策优选算法,为智能决策提供了可配置的量化评估工具。

在评估方法研究方面,王金幅等^[11]针对战时维修器材供应保障具有高度的复杂性、随机性和动态性等问题,提出一种基于云模型的层次分析法和模糊综合评价方法,能够有效解决战时维修器材供应保障能力评价中的高度模糊性和不确定性问题,提高评价结果的鲁棒性和客观性。周文明等^[12]针对战时物资储供能力评估缺少有效模型算法的问题,提出综合运用定义量化、考核评价、模糊算法、层次分析、排队网络和指数综合等算法,计算人员素质、仓储、装卸、投送、指挥控制、信息保障等指标数值,实例验证了所提算法的有效性,可为战时作战物资仓储、供应保障、辅助决策和信息系统设计提供依据。陈力等^[13]针对油库毁伤评估的快速响应需求,提出三级模糊评估体系,该方法的计算效率较传统方法提升40%,且评估结果与毁伤实验结果偏差小于15%。杨钧羽等^[14]为解决在役桥梁多因素安全评估难题,建立包含材料性能、荷载特征、环境作用等7类23项指标的评价体系,较传统方法的评估效率提升约60%,满足智能运维的实时性要求。

然而,目前的国防工程综合保障能力评估在指标体系构建方面缺乏对国防工程全面总体性的评价,在实际运用方面缺乏一定的通用性和可操作性,在指标体系权重确定方面存在过度依赖主观因素、数据精度不够、相关指标量化不合理、指标权重赋值缺乏合理依据等问题,在保障能力评估方面存在评估方法比较简单、评估效果不合实际、评估结果主观性强等问题^[15-18]。基于此,

本文结合国防工程保障能力特性,提炼出关键要素,构建一个多维度、多层次的评估体系,旨在全面反映国防工程在保障国家安全方面的综合能力;同时,将实际经验与客观数据相结合,提出多专家序-信息熵权组合法,确定指标体系权重,既保留专家的实际洞察,又利用数据的客观性,使权重设置更加符合实际需求,以提高指标权重确定的准确度和可靠性;最后,构建模糊综合评价模型,处理国防工程保障能力中不确定性或模糊性信息,从定性和定量2个角度进行评估,从而提高评估精度,为国防工程的管理和决策提供科学、合理的评估结果。

1 国防工程保障能力评估指标体系

建立国防工程保障能力评估指标体系是出于提升国家防御能力和应对复杂安全挑战的战略考量。因此,构建一个科学、全面、可量化的评估指标体系,能够准确反映国防工程在各个方面的实际效能,为决策者提供有力的数据支持和决策依据。评估指标体系的建立遵循系统性、科学性、合理性和独立性等原则,确保所有指标能够全面覆盖国防工程保障能力的各个方面,同时避免指标之间的交叉重复,从而提高评估结果的准确性和可靠性^[19-22]。具体而言,该指标体系包括技术保障能力、技术人员保障、物资备件保障、安全防护保障、方预案数质量保障和环境保障水平6个二级指标,所有二级指标又可细分出共计42个具体的三级指标,国防工程保障能力指标体系如图1所示。

2 基于多专家序-信息熵权组合法的指标权重确定

保障能力作为衡量国防工程体系在特定条件下能否有效运行并达成预定目标的关键指标,其权重的确定对于评估结果的准确性至关重要,不仅直接影响评价结果的合理性和有效性,也影响着决策制定的科学性。确定国防工程技术保障能力指标权重的难点在于处理指标间的复杂关系、确保获取数据的质量、减少主观性影响、适应动态变化的环境以及解决多目标决策中的复杂性问题。因此,本节综合主观赋权法和客观赋权法的优势,提出多专家序-信息熵权组合法,结合专家知识和客观数据分析,提高权重设置的准确性和

科学性^[23]。

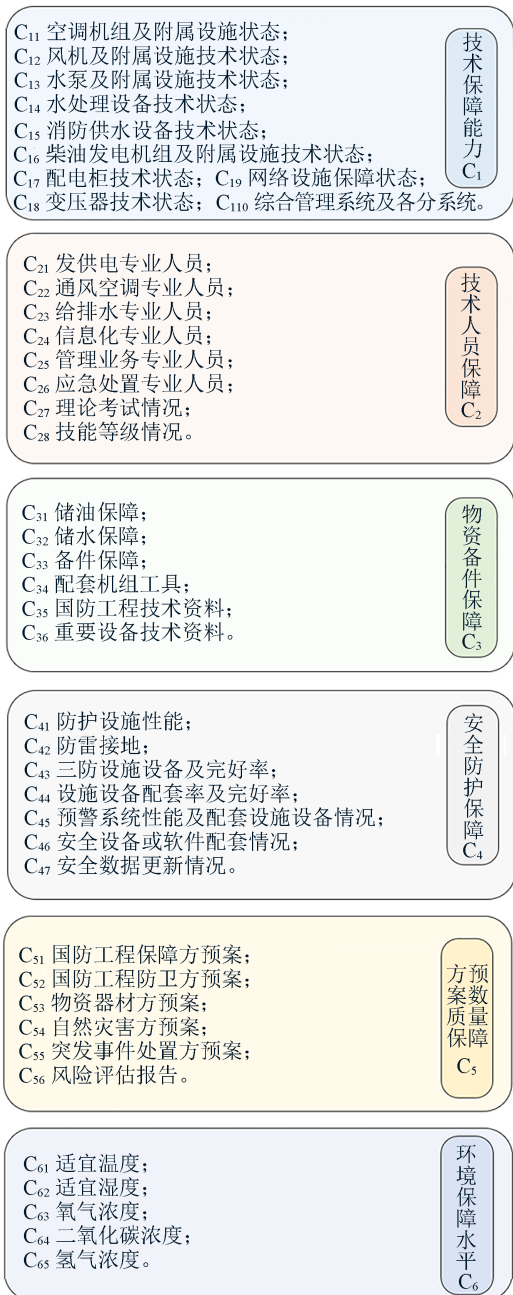


图1 国防工程保障能力指标体系

Fig. 1 Index system of national defense engineering support capability

2.1 多专家序法

多专家序法的基本步骤包括初始序关系集构建、指标相对重要度判断、主观权重系数计算和专家组群的权重融合。

2.1.1 初始序关系集构建

确定所研究领域的专家并组成专家评估小组,利用专家的先验知识、自身专业和个人经验,开展保障能力评估。首先,根据国防工程保障能力评估每一层指标体系,构建指标的序关系集;然

后,通过专家咨询、问卷调查、数据分析等方式,依据指标重要性判断原则,依次确定每一层级各个指标的排序,若评估体系中指标 x_i 比 x_j 重要,则记为 $x_i > x_j$; 最终,经过 $m-1$ 次筛选,得到评估指标重要度初始排序为

$$x_1 \geq x_2 \geq \cdots \geq x_m \quad (1)$$

式中: m 为指标总数。

2.1.2 指标相对重要度判断

针对上述已确定的初始序关系集,设每个指标的初始重要度值为 ω_k^* , 计算相邻指标之间的重要度比值 r_k 为

$$r_k = \frac{\omega_{k-1}^*}{\omega_k^*} \quad k = m, m-1, \cdots, 2 \quad (2)$$

初始重要度比值需满足

$$r_k \cdot r_{k-1} \geq 1 \quad (3)$$

本文指标重要度比值赋值如表1所示。

表1 指标重要度比值赋值

Table 1 Index importance specific value assignment

r_k	含义
(0,1.0]	x_{k-1} 与 x_k 相比,二者重要度相同
(1.0,1.2]	x_{k-1} 与 x_k 相比, x_{k-1} 重要度稍微高于 x_k
(1.2,1.4]	x_{k-1} 与 x_k 相比, x_{k-1} 重要度明显高于 x_k
(1.4,1.6]	x_{k-1} 与 x_k 相比, x_{k-1} 重要度较大高于 x_k
(1.6,1.8]	x_{k-1} 与 x_k 相比, x_{k-1} 重要度远远高于 x_k

2.1.3 主观权重系数计算

根据评估指标初始序关系集和指标重要度比值计算标准,得到指标主观权重系数为

$$\omega_k = (1 + \sum_{i=2}^m \prod_{i=k}^m r_i)^{-1} \quad k = m, m-1, \cdots, 2 \quad (4)$$

$$\omega_1 = r_2 \omega_2 \quad (5)$$

2.1.4 专家组群的权重融合

在权重融合的过程中,对专家组的意见整合是一个核心环节。因专家组中各专家的知识背景不同,对各项评价指标的理解深度和侧重点各异,导致其在评估过程中可能出现意见分歧。因此,有效整合每位专家的见解,成为权重分析时的一个关键挑战^[16-17]。

假设有一个由 J 位专家组成的专家组,他们共同参与对 m 个评价指标的筛选与权重分配工作。为了得到统一的、融合后的权重值 ω_k^* ,需根据2种不同的情况进行详细分析。

1) 专家初始序关系集判别一致。假设专家 j 对于相邻评价指标 $x_{k,j}^*$ 与 $x_{k-1,j}^*$ 之间的重要度比值为

$r_{k,j} = \omega_{k-1,j}^* / \omega_{k,j}^*$ 。其中, $k = m, m-1, \dots, 2$; $\omega_{k,j}^*$ 和 $\omega_{k-1,j}^*$ 分别为专家 j 对第 k 个和第 $k-1$ 个指标的初始重要度评价。在专家初始序关系的判别过程中, 若各专家的判断一致, 则可以进一步推导出融合后的权重值为

$$\omega_k^* = (1 + \sum_{i=2}^m \prod_{i=k}^m r_i^*)^{-1} \quad k = m, m-1, \dots, 2 \quad (6)$$

$$\omega_1^* = r_2^* \omega_2^* \quad (7)$$

其中, 不同专家对同一指标的融合权重重要度比值为

$$r_k^* = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J r_{k,j} \quad k = m, m-1, \dots, 2 \quad (8)$$

2) 专家初始序关系集判别不一致。假设有 J_0 位专家对指标的序关系判断是完全一致的, 根据式 (4) 和 (5), 可以计算得出这 J_0 位专家对应的权重系数, 记为 ω_k^* 。同时, 存在 $J-J_0$ 位专家的初始序关系判别并不一致, 他们各自给出了不同的排序。其中, $x_{k,j}^*$ 表示第 j 个专家的第 k 个排序指标。利用式 (4) 和 (5) 可以分别得到他们各自对于指标 $x_{k,j}^*$ 的权重系数, 记为 $\omega_{k,j}'$ 。

为了综合这 $J-J_0$ 位专家的意见, 本文将他们各自求得的权重系数进行算术平均, 得到的结果作为这 $J-J_0$ 位专家的融合权重值, 并统一记为 ω_k' 。这一过程确保了专家即使存在意见分歧, 也能通过科学的方法整合出具有代表性的权重系数, 表达式为

$$\omega_k' = \frac{1}{J-J_0} \sum_{j=1}^{J-J_0} \omega_{k,j}' \quad k = m, m-1, \dots, 2 \quad (9)$$

当专家初始序关系不一致时, 通过综合各专家的排序意见, 可以求得融合后的权重 ω_k^* 为

$$\omega_k^* = \frac{J_0}{J} \omega_k^* + \frac{J-J_0}{J} \omega_k' \quad k = m, m-1, \dots, 2 \quad (10)$$

通过对上述 2 种情形的分析, 可以更加系统、科学地处理专家组群在权重分配过程中的分歧, 确保最终得到的融合权重既反映了专家们的集体智慧, 又具有一定的客观性和合理性。

2.2 信息熵权法

信息熵权法是一种基于信息熵原理的客观赋权方法。在综合评价过程中, 如果某个评价指标的变异程度较小, 即各评价对象在该指标上的取值较为接近, 那么该指标提供的信息量就较少, 对综合评价的影响也较小, 因此赋予该指标较低的权重, 反之则赋予较高的权重^[24]。

2.2.1 初始数据标准化

设定 2 个集合, 分别为对象集 F 和指标集 C 。

对象集 F 包括所有需要评估的对象, 总数为 n ; 指标集 C 包含用于评估这些对象的所有指标, 总数为 m 。评价信息矩阵 L' 为

$$L' = \begin{bmatrix} l'_{11} & l'_{12} & \cdots & l'_{1m} \\ l'_{21} & l'_{22} & \cdots & l'_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l'_{n1} & l'_{n2} & \cdots & l'_{nm} \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中: l'_{ik} 为第 i 个对象在第 k 个指标上的评价值。

在系统中, 由于各因素的量纲不同, 且数值的量级可能存在显著差异, 直接比较这些数据可能会带来困难。因此, 需要对原始数据进行归一化处理。

对于指标值越大越好的情况, 则

$$l_{ik} = \frac{l'_{ik} - l'_{i,\min}}{l'_{i,\max} - l'_{i,\min}} \quad (12)$$

对于指标值越小越好的情况, 则

$$l_{ik} = \frac{l'_{i,\max} - l'_{ik}}{l'_{i,\max} - l'_{i,\min}} \quad (13)$$

式中: $l'_{i,\max}$ 和 $l'_{i,\min}$ 分别表示评价信息矩阵 L' 中第 i 行的最大值和最小值。

规范性矩阵 L 可表示为

$$L = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \cdots & l_{1m} \\ l_{21} & l_{22} & \cdots & l_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{n1} & l_{n2} & \cdots & l_{nm} \end{bmatrix} \quad (14)$$

2.2.2 指标信息熵计算

在多指标决策模型的求解过程中, 关键在于确立各项指标之间的权重分配关系。假设有 n 个对象, 第 i 个对象在第 k 项指标下的值占该指标总和的比重 P_{ik} 为

$$P_{ik} = \frac{l_{ik}}{\sum_{k=1}^m l_{ik}} \quad (15)$$

指标值的比重 P_{ik} 是一个介于 0 和 1 之间的数, 反映了该对象在该指标下的相对重要性或贡献度, 所有对象的比重之和 (在同一指标下) 等于 1。

定义第 k 个指标的熵 S_k 为

$$S_k = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n (P_{ik} \ln P_{ik}) \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

其中, 当 $P_{ik} = 0$ 时, $P_{ik} \ln P_{ik} = 0$ 。在多指标决策分析中, 信息熵的概念用于衡量每个指标提供的信息量大小。信息熵 S_k 值越小, 指标提供的信息量越大, 因此该指标在决策过程中的重要性也就越高。

2.2.3 客观权重确定

根据式(16)得到指标权重的信息熵,然后利用信息熵计算第 k 个指标的客观权重 v_k ,数学表达式为

$$v_k = \frac{1 - S_k}{\sum_{k=1}^m (1 - S_k)} \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (17)$$

每个指标的权重 v_k 反映了该指标在所有指标中的相对重要性。信息熵权法通过数据驱动与数学原理的结合显著提升了权重确定的客观性,该方法基于指标数据的实际分布特征进行计算,利用信息熵理论量化指标变异程度。当某指标数据差异越大(熵值越小),其携带的信息量越多,权重相应提升,反之则自动降权。这一过程通过严格的数学公式实现客观赋权,避免人为主观干预,其动态适应特性能够通过概率化处理和标准化步骤来有效降低异常值干扰,确保不同量纲指标的可比性,计算过程标准且结果可复现,与传统专家打分法、层次分析法等方法相比,能够消除个体认知偏差与群体博弈风险^[25]。

2.3 基于多专家序-信息熵权组合法

在评估指标权重的确定过程中,多专家序法融入了评价者基于其深厚经验和专业知识的个人见解,体现了决策的主观性;而信息熵权法则以

其对原始数据精度的严格依赖,展现了方法的客观性与准确性。为了平衡这两者优势,避免单独使用时可能因经验局限或数据误差导致的偏颇,采用了基于多专家序-信息熵权法这一组合策略,旨在融合主观判断与客观规律,确保评估权重的全面性与合理性。

设邀请的专家总数为 J ,待评估的指标数量为 m 。首先,通过多专家序法,由每位专家依据其专业判断为各项指标分配主观权重,形成主观权重集合 $\omega_j = (\omega_{1,j}, \omega_{2,j}, \dots, \omega_{m,j})$,其中每个权重满足 $0 < \omega_{k,j} < 1$,且所有权重之和为1。

随后,利用熵权法计算得出客观权重集合 $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)$,满足 $0 < v_j < 1$ 且总和为1。

最终,多专家序-信息熵权组合法通过引入偏好系数(记为 β ,代表多专家序法主观权重在组合权重中的占比),将上述2种权重有效结合,计算出综合权重 w_k 为

$$w_k = \beta \sum_{j=1}^J \omega_{k,j} \times (1 - \beta) v_k \quad (18)$$

通过上述公式,在得以尊重专家主观意见的同时,也充分考虑了数据的客观特性,从而提高了评估权重的科学性和准确性。国防工程保障能力评估指标权重确定流程如图2所示。

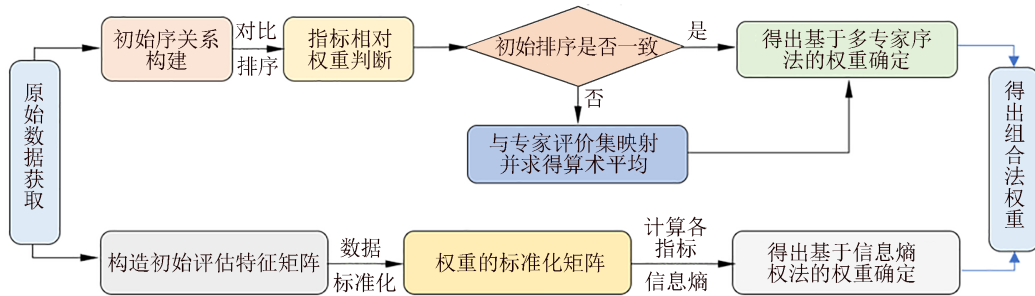


图2 保障能力评估指标权重确定流程

Fig. 2 Process of determining the weights of evaluation indices of support capability

3 基于模糊综合评价的国防工程保障能力评估

本节在基于专家序-信息熵权组合法确定各个指标权重的基础上,运用模糊综合评价方法,对蕴藏信息呈现模糊性的国防工程保障能力作出科学、合理、贴近实际的量化评价,充分考虑了评价因素的复杂性和不确定性,使得评估结果更加符合实际情况^[26]。

3.1 建立评价因素集

评价因素集是一个综合性集合,它汇聚了所

有可能影响评价对象评估结果的各类因素。针对国防工程保障能力评价对象,将评价指标组成评价因素集,具体形式为 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_g\}$ 。在此集合中,每一个元素 u_i 都代表了一个特定的影响因素,是对评价对象进行全面考量的一部分。

3.2 构建综合评价评语集

评语集是评判者根据评价对象的表现所给出的一系列评判结果的集合,这些评判结果按照强度、质量或数量的递增(或递减)顺序被划分为多个等级。针对国防工程保证能力的评估需求,本文选取了4个评价等级来构成评语集,即 $H =$

$\{h_1, h_2, h_3, h_4\}$, 这些等级清晰地反映了评估结果的不同层次。保障能力评估等级划分如表 2 所示。

表 2 保障能力评估等级划分

Table 2 Division of support capability evaluation grades

评估等级	评估现状	评估区间
h_1	优	$[100, 80)$
h_2	良	$[80, 60)$
h_3	中	$[60, 40)$
h_4	差	$[40, 0]$

3.3 构建指标权重集

在模糊综合评价过程中, 由于评价因素的重要性存在差异, 需要对这些因素分别赋予一个权重 q_i , 以量化其重要程度, 权重可由多专家序-信息熵权组合法计算得到。

3.4 构建综合评价矩阵

对于因素集 U 中的第 i 个元素, 如果其对评语集 H 中的第 j 个元素的隶属度是 e_{ij} , 那么该元素在单因素评价中的结果可以用模糊集合表示为 $E_i = \{e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{ip}\}$, 并作为综合评价评语集 H 的 1 个模糊子集。将 g 个这样的单因素评价集合 $E_1, E_2, \dots, E_g$ 组合, 可以构成一个模糊综合评价矩阵 E 为

$$E = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1p} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{g1} & e_{g2} & \cdots & e_{gp} \end{bmatrix} \quad (19)$$

式中: e_{ij} 表示第 i 个因素对第 j 个评价等级的隶属度, 揭示了评价因素与评价等级之间通过隶属度所表达的模糊关系。这种隶属度反映了评价因素在多大程度上属于或符合某个特定的评价等级, 从而体现了评价过程中的不确定性和模糊性。

根据不同的指标类型, 选择合适的隶属度函数, 具体步骤如下。

1) 建立统计型隶属度函数。此函数通过专家评价统计法来构建。假设共有 J 位专家参与评估, 每位专家都会根据指标的相关参数直接对指标进行评价。设 c_{ij} 为赞同评价因素 u_i 属于评价等级 h_j 的专家人数, 则隶属度 e_{ij} 为

$$e_{ij} = \frac{c_{ij}}{J} \quad (20)$$

同样地, 对基于历史数据的统计型指标, 可以将历史数据范围按照评价等级平均划分为相应区间, 然后计算每个指标在区间内出现的频率, 并将其作为该指标相对于各评价等级的隶属度。

2) 建立基于正态分布的模糊隶属度函数, 首先需对指标数据进行归一化处理。定义评价因素 u_i 的取值为 x_i , 根据历史记录或专家设定, 选取各因素的最大值 $x_{\max}^i$ ($i = 1, 2, \dots, g$) 和最小值 $x_{\min}^i$ ($i = 1, 2, \dots, g$), 并将区间 $[x_{\min}^i, x_{\max}^i]$ 按照评价等级的数量均分为 $p-1$ 个子区间。不同评价等级 h_j 的隶属度函数如下。

当 $j = 1$ 时, 隶属度函数为

$$e_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i = x_{\max}^i \\ \exp\left[-\left(\frac{x_i - x_{\max}^i}{\sigma}\right)^2\right] & x_i < x_{\max}^i \end{cases} \quad (21)$$

当 $j = 2$ 或 $j = 3$ 时, 隶属度函数为

$$e_{ij} = \exp\left\{-\left[\left(x_i - \frac{(4-j)x_{\max}^i + (j-1)x_{\min}^i}{3}\right) / \sigma\right]^2\right\} \quad (22)$$

$$x_{\min}^i \leq x_i \leq x_{\max}^i$$

当 $j = 4$ 时, 隶属度函数为

$$e_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i = x_{\min}^i \\ \exp\left[-\left(\frac{x_i - x_{\min}^i}{\sigma}\right)^2\right] & x_i > x_{\min}^i \end{cases} \quad (23)$$

其中, 对于式 (21) ~ (23), σ 为

$$\sigma = \frac{x_{\max}^i - x_{\min}^i}{3} \quad (24)$$

3.5 模糊综合评价

由于模糊综合评价涉及众多因素, 且每项因素分配的权重往往很小, 这可能导致综合评价无法达到预期效果。为了解决这个问题, 可以采用多层次模型的评价方法。

1) 单层次模糊综合评价模型

首先, 确定一级因素的权重矩阵 $Q = [q_1, q_2, \dots, q_g]$ 。然后, 通过模糊变换得出关于 U 的一级综合评价结果 B 为

$$B = Q \cdot E = [q_1 \ q_2 \ \cdots \ q_g] \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1p} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{g1} & e_{g2} & \cdots & e_{gp} \end{bmatrix} = [b_1 \ b_2 \ \cdots \ b_p] \quad (25)$$

式中: b_j 为目标对于第 j 个评语集的隶属度大小。

2) 多层次模糊综合评价模型

对于评判因素集合 U , 根据某个特定属性, 将其划分为 f 个子集, 这些子集应满足以下条件, 即

$$\begin{cases} U = \sum_{i=1}^f U_i \\ U_i \cap U_j = \phi \quad i \neq j \end{cases} \quad (26)$$

每个子集内部的因素具有相似的属性或特征,因此可得到第二级评判因素集合 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_f\}$ 。其中, $U_i = \{u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{ik}\}$ 表示第 i 个子集, 每个子集中包含 k 个评判因素。

如果子集 U_i 的因素权重矩阵为 W_i , 其评判决策矩阵为 E_i , 则得到第 i 个子集的综合评判结果为

$$B_i = W_i \cdot E_i = [b_{i1} \ b_{i2} \ \dots \ b_{ip}] \quad (27)$$

然后, 对所有的 f 个子集进行综合评判, 其评判决策矩阵为

$$B^* = \begin{bmatrix} B_1^* \\ B_2^* \\ \vdots \\ B_f^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1p} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{f1} & b_{f2} & \dots & b_{fp} \end{bmatrix} \quad (28)$$

如果 U 中的各子集权重分配为 W^* , 则可得综合评判结果为

$$B = W^* \cdot B^* \quad (29)$$

式中: B 既是 U 的综合评判结果, 也是 U 中所有评判因素的综合评判结果。

将多级模糊综合评价结果 B 经过归一化流程处理后, 所得模糊子集表示为 $B = [B_1 \ B_2 \ \dots \ B_g]$ 。基于这一模糊子集, 系统总体性能的评价结果为

$$s = \sum_{j=1}^g (B_j \cdot M_j) \quad (30)$$

式中: s 为系统评价的最终得分, 该分数综合反映了系统在各评价因素上的综合表现; B_j 为模糊子集中第 j 个元素的归一化值, 它表示第 j 个评价因素在整体评价中的重要程度或贡献度; M_j 是与第 j 个评价因素相对应的等级分值, 这个分值根据评价标准或预设的等级体系确定, 反映了该因素在具体条件下的性能水平。

通过计算模糊子集与因素等级分值的加权和, 有效地整合了多个评价因素的信息, 为系统整体性能的评估提供了一个可量化的综合方法。

基于模糊综合评价的保障能力评估流程如图3所示。

4 仿真验证

4.1 多专家序-信息熵权组合法验证

本文构建的国防工程保障能力评估指标体系包含6个二级指标、42个三级指标, 以二级指标权重计算为例, 5位专家对6个二级指标初始打分结果如表3表示。

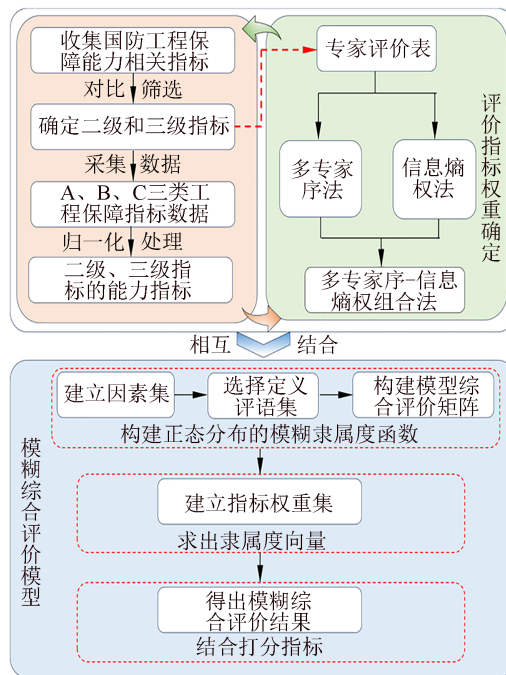


图3 基于模糊综合评价的保障能力评估流程

Fig. 3 Flowchart of the support capability evaluation process based on fuzzy comprehensive evaluation

表3 二级指标的专家打分

Table 3 Expert scoring of secondary indicators

二级指标	各专家打分				
	专家1	专家2	专家3	专家4	专家5
C ₁	1.6	1.7	1.6	1.5	1.7
C ₂	1.1	1.3	1.2	1.2	1.1
C ₃	1.5	1.6	1.7	1.5	1.6
C ₄	1.3	1.4	1.3	1.4	1.3
C ₅	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7
C ₆	1.2	1.1	1.3	1.1	1.2

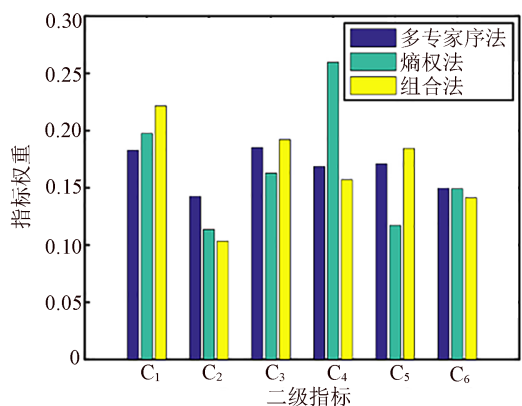
根据式 (1) ~ (3), 得到每位专家对6个二级指标的初始序关系排序, 以及相邻指标之间的重要度比值, 结果如表4所示。由表4可知, 每位专家根据自身专业知识和经验, 对二级指标的重要度认识不同。

通过多专家序法、熵权法和组合法得到的二级指标和三级指标权重对比结果如图4所示。其中, 图4 (b) 横坐标刻度1~42分别代表图1中二级指标 C₁~C₆ 的所有三级指标从上至下依次排序的序号。由图4 (a) 可知, 针对6个二级指标, 在多专家序法中, C₃ 指标权重值最大, C₂ 指标权重值最小; 在信息熵权法中, C₄ 指标权重值最大, C₂ 指标权重值最小; 在多专家序-信息熵权组合法中, 技术保障能力 C₁ 指标权重值最大, 技术人员

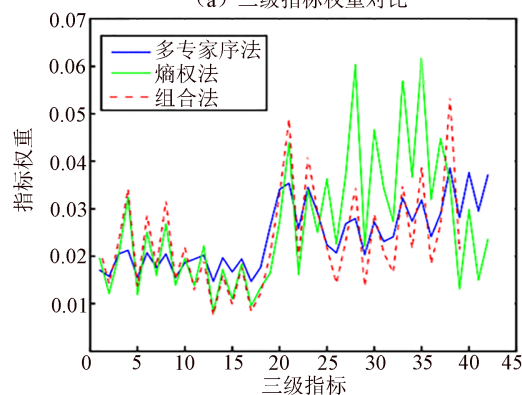
保障 C_2 指标权重值最小。

表 4 二级指标专家排序结果及指标重要度比值
Table 4 Importance ratio of the secondary indicators sorted by experts

专家序号	初始序关系	重要度比值				
		r_2	r_3	r_4	r_5	r_6
1	$C_1 > C_3 = C_5 > C_4 > C_6 > C_2$	1.46	0.88	1.15	0.87	1.25
2	$C_1 > C_3 > C_5 > C_4 > C_2 > C_6$	1.31	0.89	1.14	0.93	1.36
3	$C_3 > C_1 > C_5 > C_4 = C_6 > C_2$	1.33	0.79	1.31	0.91	1.15
4	$C_5 > C_1 = C_3 > C_4 > C_2 > C_6$	1.25	0.95	1.07	0.88	1.46
5	$C_1 = C_5 > C_3 > C_4 > C_6 > C_2$	1.55	0.85	1.23	0.77	1.42



(a) 二级指标权重对比



(b) 三级指标权重对比

图 4 3 种方法的二级指标和三级指标权重对比

Fig. 4 Comparisons of the weights of secondary and tertiary indicators obtained using the three methods

当考虑二级指标对三级指标的影响时, 根据图 4 (b) 可知, 针对 42 个三级指标, 在多专家序法中, 适宜温度 C_{61} (序号 38) 指标权重值最大, 给排水专业人员 C_{23} (序号 13) 和理论考试情况 C_{27} (序号 17) 指标权重值最小; 在信息熵权法中, 自

然灾害方预案 C_{54} (序号 35) 指标权重值最大, 给排水专业人员 C_{23} 指标权重值最小; 在多专家序-信息熵权组合法中, 适宜温度 C_{61} 指标权重值最大, 给排水专业人员 C_{23} 指标权重值最小。通过结果分析, 在 3 种方法中, 技术人员保障 C_2 指标重要度最小, 符合国防工程保障运行机理。3 种方法均评价给排水专业人员 C_{23} 指标权重值最小, 达成了一致性。

由图 4 可知, 针对二级、三级指标权重, 多专家序-信息熵权组合法结合了多专家序法的经验性和信息熵权法的客观性, 使得权重确定过程既考虑了专家的专业判断, 又避免了单一方法的主观性和局限性, 通过专家的经验指导和信息熵的量化分析, 平衡了多专家序法和信息熵权法因主客观所引起的权重悬殊问题, 可以更加准确地反映各指标在国防工程技术保障能力中的实际作用, 提高权重设定的准确性和科学性。

当未考虑二级指标对三级指标的影响时, 基于 3 种方法得到的各个指标权重结果对比如图 5 所示。在技术保障能力指标中, 3 种方法均评价水处理设备 (污水处理、水净化) 技术状态 C_{14} 指标权重最大, 消防供水设备技术状态 C_{15} 指标权重最小, 而多专家序法同时也评价网络设施保障状态 C_{19} 指标权重最小。在技术人员保障指标中, 3 种方法均评价通风空调专业人员 C_{22} 指标权重最大, 给排水专业人员 C_{23} 指标权重最小, 但多专家序法同时也评价理论考试情况 C_{27} 指标权重最小。在物资备件保障指标中, 多专家序法评价备件保障 C_{33} 指标权重最大, 信息熵权法评价配套机组工具 C_{34} 指标权重最大, 而组合法评价储油保障 C_{31} 指标权重最大, 但 3 种方法均评价储水保障 C_{32} 指标权重最小。在安全防护保障指标中, 3 种方法均评价设施设备配套率及完好率 C_{44} 指标权重最大, 预警系统性能及配套设施设备情况 C_{45} 指标权重最小。在方预案数质量保障指标中, 多专家序法评价国防工程防卫方预案 C_{52} 指标权重最大, 国防工程保障方预案 C_{51} 和突发事件处置方预案 C_{55} 指标权重最小, 而信息熵权法和多专家序-信息熵权组合法均评价自然灾害方预案 C_{54} 指标权重最大, 国防工程保障方预案 C_{51} 指标权重最小。在环境保障水平指标中, 3 种方法均评价适宜温度 C_{61} 指标权重最大, 适宜湿度 C_{62} 指标权重最小。综上所述, 对于相同二级指标下的三级指标, 3 种方法的评价结果状态基本上保持一致, 但是具体的权重值存在差异。并且, 针对二级指标 C_5 , 传统信息熵权法和本文

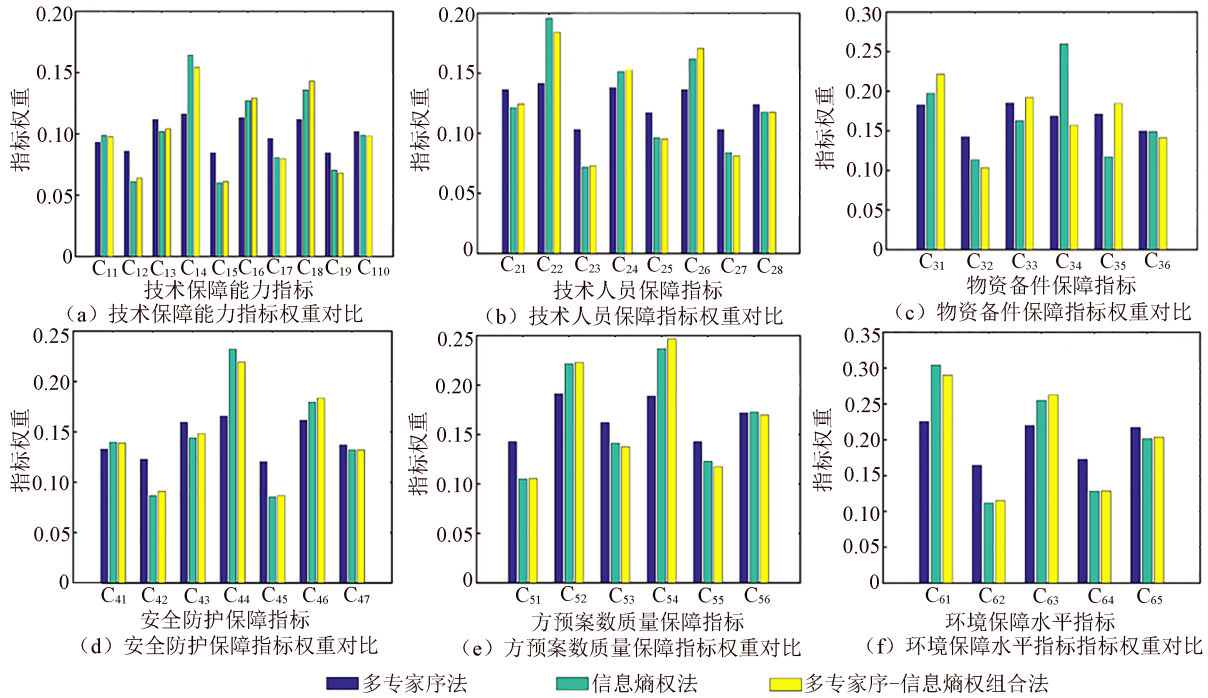


图5 基于3种方法的42个三级指标权重结果对比

Fig. 5 Comparisons of weight results of 42 tertiary indicators obtained using the three methods

所提组合方法基于大量物资备件消耗数据, 评价结果状态相同, 表明所提的组合法能够结合专家经验和客观数据, 提高权重的科学性。

4.2 模糊综合评价验证

根据国防工程保障能力指标体系, 选择3类国防工程数据进行对比分析。因42个三级指标矩阵较大, 因此以工程1中的环境保障水平 C_6 为例, 根据模糊综合评价模型进行定性评估, 可以求得环境保障水平子集下5个三级指标的评判矩阵 E_{C_6} 。

$$E_{C_6} = \begin{bmatrix} 0.5000 & 0.5000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 1.0000 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0392 & 0.9608 & 0 & 0 \\ 0.9952 & 0.0048 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

基于多专家序-信息熵权组合法确定指标权重, 得到工程1在环境保障水平子集下5个三级指标的权重矩阵 W_{C_6} 为

$$W_{C_6} = [0.2901 \ 0.1151 \ 0.2627 \ 0.1286 \ 0.2035]$$

根据式(27)~(29), 确定工程1对于环境保障水平的隶属度矩阵 $B_{C_6}^*$ 为

$$B_{C_6}^* = W_{C_6} \cdot E_{C_6} = [0.6153 \ 0.3079 \ 0.0384 \ 0.0384]$$

同理, 求得工程1中二级指标技术保障能力、技术人员保障、物资备件保障、安全防护保障、方预案数质量保障和环境保障水平的隶属度, 可组合成 $E_{工程1}$ 为

$$E_{工程1} = \begin{bmatrix} 0.5344 & 0.4575 & 0.0040 & 0.0040 \\ 0.5597 & 0.4403 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.6411 & 0.3589 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.3512 & 0.6486 & 0.0001 & 0.0001 \\ 0.6537 & 0.3463 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.6153 & 0.3079 & 0.0384 & 0.0384 \end{bmatrix}$$

通过多专家序-信息熵权组合法确定权重, 得到工程1的二级指标权重矩阵 $W_{工程1}$ 为

$$W_{工程1} =$$

$$[0.2215 \ 0.1035 \ 0.1922 \ 0.1570 \ 0.1845 \ 0.1413]$$

因此, 工程1最终保障能力评估的隶属度矩阵

$$B_{工程1}^*$$

$$B_{工程1}^* = W_{工程1} \cdot E_{工程1} =$$

$$[0.5622 \ 0.4251 \ 0.0063 \ 0.0063]$$

同理, 可求得工程2和工程3最终保障能力评估的隶属度矩阵分别为 $B_{工程2}^*$ 、 $B_{工程3}^*$ 。

$$B_{工程2}^* = W_{工程2} \cdot E_{工程2} =$$

$$[0.0046 \ 0.2150 \ 0.3902 \ 0.3902]$$

$$B_{工程3}^* = W_{工程3} \cdot E_{工程3} =$$

$$[0.7217 \ 0.1796 \ 0.0493 \ 0.0494]$$

图6展示了3类工程保障能力的隶属度。在工程1的保障能力隶属度中, 优级隶属度最高(0.5622), 次之为良级隶属度(0.4251), 优级和良级隶属度所占比例较大, 占整体隶属度的98.74%, 这与工程1中部分指标保障能力较强相匹配, 但仍存在一部分指标能力较弱, 故工程1属于

优级。在工程 2 保障能力隶属度中,中级和差级隶属度最高且相同 (0.390 2),次之为良级隶属度 (0.215 0),并且中级和差级隶属度占整体隶属度比例为 78.04%,这与工程 2 中大部分指标保障能力较弱相匹配,故工程 2 属于中级或者差级。在工程 3 保障能力隶属度中,优级隶属度最高 (0.721 7),次之为良级隶属度 (0.179 6),并且优级和良级隶属度占整体的 90.13%,故工程 3 属于优级。

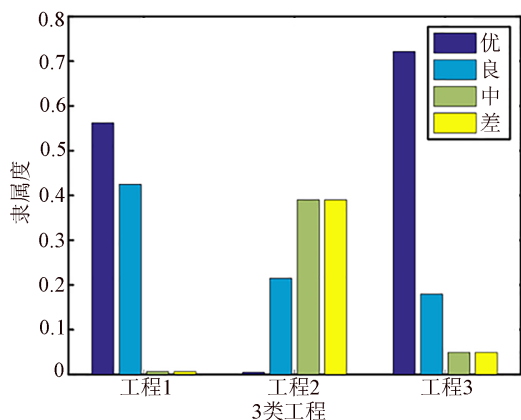


图 6 3 类工程定性评估的隶属度

Fig. 6 Membership degrees of qualitative evaluation for three types of projects

经过定性的隶属度评估分析,了解 3 类工程整体状况,现进行定量分析,将综合能力指标转换成最终保障能力得分,结合表 2 的综合评价评语中的表 2 保障能力评估等级划分,采用加权平均法对隶属度进行赋值,从而得出 3 类工程保障能力的最终得分。

图 7 为 3 类工程定量评估的最终得分,针对保障能力优劣排序,工程 3 最优,工程 1 次之,且工程 3 和工程 1 都属于优级,保障能力较强,工程 2 属于差级,保障能力较弱,整体评价结果和现实情况相符。

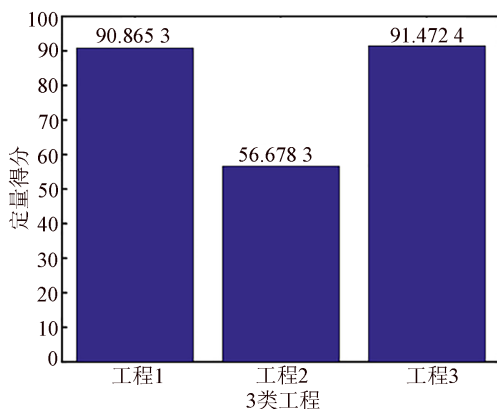


图 7 3 类工程定量评估的最终得分

Fig. 7 Final scores of quantitative evaluation of three types of projects

综上所述,针对国防工程保障能力评估,在多专家序-信息熵权组合法指标权重确定的基础上,采用模糊综合评价,可较好地实现定性定量相结合,提高了评估的精确度,使评估结果更加全面且符合实际,为保障能力整体提升提供了科学依据。

5 结论

在当今国防工程领域中,科学准确地评估综合保障能力对于优化资源配置和提高应急响应能力至关重要。本文通过引入多种理论方法旨在提升国防工程综合保障能力评估的科学性、系统性和可操作性,主要结论如下。

1) 评估指标体系的构建。构建了一个覆盖技术保障、人员保障和物资备件保障、安全防护等多维度的国防工程综合保障能力评估指标体系,共计 6 个二级指标、42 个三级指标,能够较为全面地反映国防工程的实际保障能力。

2) 指标权重的科学确定。提出了多专家序-信息熵权组合法,并与传统多专家序法、传统信息熵权法进行了对比,仿真结果表明,该方法既保留了专家的实际洞察,又利用了数据的客观性,使权重设置更加符合实际需求,提高了指标权重确定的可靠性和科学性。

3) 评估方法的创新性。通过指标权重确定方法和模糊综合评判法,提出了新的综合评估模型,仿真结果表明,3 类国防工程保障能力得分分别为 90.865 3、56.678 3 和 91.472 4 整体评价结果和现实情况相符。

通过这些工作,本文不仅促进了国防工程综合保障能力评估理论的发展,还实现了评估方法与实际应用的有效结合,可以使决策者全面掌握国防工程保障能力的现状和不足,为后续的改进和提升提供有力支持。同时评估结果还可以为决策者提供科学依据,优化资源配置,提高国防工程保障体系的整体效能。

参考文献

- [1] 李晓斌, 韩世龙, 卢道伟. 融合多源试验信息的导弹命中精度综合评定方法[J]. 火箭军工程大学学报, 2024, 38(4): 47-53.
LI X B, HAN S L, LU D W. Multi-source test information fusion-based comprehensive evaluation method for missile hit accuracy[J]. Journal of Rocket Force University of Engineering, 2024, 38(4):

- 47-53.
- [2] 韩驰,熊伟,刘文文,等. 基于结构方程模型的天基信息系统效能评估[J]. 系统仿真学报, 2022, 34(8): 1799-1810.
- HAN C, XIONG W, LIU W W, et al. Effectiveness evaluation method of space-based information systems based on SEM[J]. Journal of System Simulation, 2022, 34(8): 1799-1810.
- [3] 黄建涛,彭永,陈浩. 中低层框架建筑物毁伤效能评估模型及用弹量算法[J]. 火箭军工程大学学报, 2024, 38(3): 9-17.
- HUANG J T, PENG Y, CHEN H. Damage effectiveness assessment model and algorithm of ammunition usage amount for missile strikes on low-to-mid-rise frame buildings[J]. Journal of Rocket Force University of Engineering, 2024, 38(3): 9-17.
- [4] LIU H, DING Y Y, HU H M, et al. Demand analysis of air defense unit training evaluation system[C]//LONG S Z, DHILLON B S. Man-Machine-Environment System Engineering. Singapore: Springer, 2022: 644-649.
- [5] TUNCER O, ALI CIRPAN H. Adaptive fuzzy based threat evaluation method for air and missile defense systems[J]. Information Sciences, 2023, 643: 119191.
- [6] 甄子清,黄栋,韩松,等. 舰艇服役期经济性评价指标体系构建[J]. 系统工程与电子技术, 2025, 47(7): 2275-2282.
- ZHEN Z Q, HUANG D, HAN S, et al. Construction of economic evaluating indicator system for service life of ships[J]. Systems Engineering and Electronics, 2025, 47(7): 2275-2282.
- [7] NEBATI E E, AYVAZ B, KUSAKCI A O. ERP system evaluation in the defense industry: a hybridized spherical fuzzy AHP-codas approach[J]. International Journal of Information Technology & Decision Making, 2024, 23(5): 1935-1976.
- [8] 汪涛,周文雅,郭继唐,等. 改进高斯云模型及其在装备保障体系能力评估中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2024, 46(5): 1673-1681.
- WANG T, ZHOU W Y, GUO J T, et al. Improved Gaussian cloud model and its application in equipment support system capability evaluation[J]. Systems Engineering and Electronics, 2024, 46(5): 1673-1681.
- [9] 孙旭涛,付勇,王伟超. 主观咨询约束下主客观一体化最优赋权方法[J]. 系统工程与电子技术, 2025, 47(9): 3004-3010.
- SUN X T, FU Y, WANG W C. Optimal weighting method for subjective and objective integration with subjective consultation constraints[J]. Systems Engineering and Electronics, 2025, 47(9): 3004-3010.
- [10] 李皓,孟英谦,杨清清,等. 智能化背景下基于双因子赋权和证据推理的作战效能评估方法[J]. 火力与指挥控制, 2024, 49(12): 158-166.
- LI H, MENG Y Q, YANG Q Q, et al. The a combat effectiveness evaluation method based on two-factor weighting and evidence reasoning in the context of intelligent warfare[J]. Fire Control & Command Control, 2024, 49(12): 158-166.
- [11] 王金桐,王亚彬,郭宇荣,等. 基于CM-FCE-AHP的战时维修器材供应保障能力评价研究[J]. 兵工学报, 2024, 45(3): 1010-1024.
- WANG J G, WANG Y B, GUO Y R, et al. Research on evaluation of wartime maintenance equipment supply ability based on CM-FCE-AHP[J]. Acta Armamentarii, 2024, 45(3): 1010-1024.
- [12] 周文明,崔德康,周婧怡,等. 储供基地支援保障能力评估混合算法[J]. 系统工程与电子技术, 2022, 44(9): 2832-2839.
- ZHOU W M, CUI D K, ZHOU J Y, et al. Hybrid algorithm for evaluation of support capability of storage and supply bases[J]. Systems Engineering and Electronics, 2022, 44(9): 2832-2839.
- [13] 陈力,杨方柳,冯彬,等. 基于模糊综合评判的油库毁伤评估方法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2023, 53(5): 794-802.
- CHEN L, YANG F L, FENG B, et al. Damage assessment method of oil depot based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2023, 53(5): 794-802.
- [14] 杨钧羽,李明,孙爽,等. 基于最优权重和模糊理论的钢拱桥安全评估方法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2025, 46(1): 134-144.
- YANG J Y, LI M, SUN S, et al. Safety assessment method for steel arch bridge based on optimal weights and fuzzy theory[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2025, 46(1): 134-144.
- [15] 卢瑞涛,申通,杨小冈,等. 基于层次分析法的红外仿真图像逼真度综合评估算法[J]. 火箭军工程大学学报, 2024, 38(6): 23-30.
- LU R T, SHEN T, YANG X G, et al. Analytic hierarchy process-based comprehensive evaluation algorithm of infrared simulation image fidelity[J]. Journal of Rocket Force University of Engineering, 2024, 38(6): 23-30.

- [16] 迟骋, 李向阳, 张志利, 等. 基于动态卷积的混合模型性能评估方法[J]. 火箭军工程大学学报, 2024, 38(5): 53-58, 80.
- CHI C, LI X Y, ZHANG Z L, et al. Performance evaluation method of hybrid model based on dynamic convolution[J]. Journal of Rocket Force University of Engineering, 2024, 38(5): 53-58, 80.
- [17] NI T, ZHANG X H, LENG P, et al. Comprehensive benefits evaluation of low impact development using scenario analysis and fuzzy decision approach[J]. Scientific Reports, 2025, 15(1): 2227.
- [18] LYU Y L. Integrating motion sensors based on deep neural networks into training and monitoring systems using a fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Computers and Electrical Engineering, 2025, 122: 109890.
- [19] 计蓉, 侯慧娟, 盛戈皞, 等. 基于组合赋权法和模糊综合评价的电力设备状态数据质量评估[J]. 高压技术, 2024, 50(1): 274-281.
- JI R, HOU H J, SHENG G H, et al. Data quality assessment for power equipment condition based on combination weighing method and fuzzy synthetic evaluation[J]. High Voltage Engineering, 2024, 50(1): 274-281.
- [20] 曾盛富, 梁浩全, 王岩, 等. 基于改进的组合赋权和云模型的平流层飞艇健康状态评估[J/OL]. 北京航空航天大学学报, (2024-01-23)[2025-08-29]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2625.V.20240123.0945.001>.
- ZENG S F, LIANG H Q, WANG Y, et al. Health status assessment of stratospheric airship based on improved combination weighting and cloud model[J/OL]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, (2024-01-23)[2025-08-29]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2625.V.20240123.0945.001>.
- [21] 严惊涛, 刘树光. 基于组合赋权的对地攻击无人机自主能力云模型评价[J]. 北京航空航天大学学报, 2023, 49(12): 3500-3510.
- YAN J T, LIU S G. Combination weighting based cloud model evaluation of autonomous capability of ground-attack UAV[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2023, 49(12): 3500-3510.
- [22] 高龙, 曹军海, 宋太亮, 等. 基于复杂网络理论的装备保障体系演化模型[J]. 兵工学报, 2017, 38(10): 2019-2030.
- GAO L, CAO J H, SONG T L, et al. Evolution model of equipment support system of systems based on complex network theory[J]. Acta Armamentarii, 2017, 38(10): 2019-2030.
- [23] 何华锋, 王依繁, 何耀民, 等. 导弹武器系统时间同步网的综合性能评估方法[J]. 航空学报, 2021, 42(6): 541-555.
- HE H F, WANG Y F, HE Y M, et al. Comprehensive performance evaluation method for time synchronization network of missile weapon system[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2021, 42(6): 541-555.
- [24] ZHANG H T, WANG R H, ZOU G, et al. Research on intelligent substation secondary system fault diagnosis system based on fuzzy comprehensive judgment[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2025, 2935(1): 012010.
- [25] 杜海东, 曹军海, 刘福胜. 典型陆军部队装备维修作业能力评估系统仿真建模研究[J]. 系统仿真学报, 2020, 32(10): 1854-1861.
- DU H D, CAO J H, LIU F S. Modeling research on assessment system for army maintenance work capacity[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(10): 1854-1861.
- [26] 黄迎春, 牟鑫明. 指挥信息系统应用层攻击效能模糊综合评估方法[J]. 兵工学报, 2020, 41(5): 932-940.
- HUANG Y C, MOU X M. A fuzzy comprehensive evaluation method for attack effectiveness of the application layer of command information system[J]. Acta Armamentarii, 2020, 41(5): 932-940.

Assessment of National Defense Engineering Support Capability Based on Combination Weighting and Fuzzy Comprehensive Evaluation

XU Lingliang, WANG Baocheng*, FAN Yutao,
ZHAO Shale, HE Fang

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

ABSTRACT: A multi-expert order and information entropy weight combination method was proposed based on multi-expert knowledge and objective data analysis to address problems, such as the lack of rationality in weight assignment of national defense engineering support capability indicators, significant influence of subjective and objective factors, inconsistent evaluation standards, and lack of transparency in the evaluation process. The weight of each index in the system was determined to improve the accuracy and scientific nature of weight assignment. Based on the determined weights, a fuzzy comprehensive evaluation model was constructed to deal with uncertainty or fuzzy information. The evaluations were conducted from qualitative and quantitative perspectives, ensuring that the evaluation results aligned with actual conditions. Simulation results show that compared with the traditional multi-expert order and information entropy weight methods, the calculation process of the proposed combination method is simpler and more efficient, and the weight assignment is more reasonable, thereby laying a scientific foundation for support capability evaluation. From a qualitative membership perspective, the established fuzzy comprehensive evaluation model shows that Project 3 is optimal, Project 1 ranks second, and Project 2 is inferior. From the perspective of quantitative evaluation scores, the support capability scores of the three national defense projects are 90.865 3, 56.678 3 and 91.472 4, respectively. The qualitative and quantitative analysis results confirm each other, and the overall evaluation results are consistent with actual conditions, providing a reference for the continuous improvement and decision-making support of national defense engineering support capability.

KEYWORDS: national defense engineering; support capability; multi-expert order and information entropy weight combination method; fuzzy comprehensive evaluation

(编辑: 刘建民)