

doi: 10.7690/bgzd.2023.07.002

# 基于诱导有序加权证据推理方法的装备使用质量综合评价

王志, 李星新, 于永利

(陆军工程大学石家庄校区, 石家庄 050003)

**摘要:** 针对装备质量评价工作涉及的因子赋权以及通过调查问卷进行评价时存在合理的“信息缺失”等问题, 采用诱导有序加权证据推理(induced ordered weighted evidential reasoning, IOWER)方法进行装备使用质量评价。分析多策略的合成赋权方法, 介绍混合赋权策略, 利用 Matlab 实现求解; 分析不完全信息下基于证据推理的装备使用质量综合评价, 并对某炮兵营装备的使用结果进行分析。分析结果表明, 运用 IOWER 方法有利于得出更准确的评价结论。

**关键词:** 诱导有序加权证据推理(IOWER); 不完全信息; 使用质量; 综合评价; 赋权策略

**中图分类号:** TJ07 **文献标志码:** A

## Comprehensive Evaluation of Equipment Operational Quality Based on Induced Ordered Weighted Evidential Reasoning Method

Wang Zhi, Li Xingxin, Yu Yongli

(Shijiazhuang Campus, Army Engineering University of PLA, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** In view of the factor weighting involved in the equipment quality evaluation and the reasonable “lack of information” in the evaluation through the questionnaire, the induced ordered weighted evidential reasoning (IOWER) method is used to evaluate the equipment service quality. The synthetic weighting method of multi strategy is analyzed, the mixed weighting strategy is introduced, and the solution is realized by MATLAB; This paper analyzes the comprehensive evaluation of equipment use quality based on evidence reasoning under incomplete information, and analyzes the use results of equipment of an artillery battalion. The analysis results show that the use of IOWER method is conducive to draw more accurate evaluation conclusions.

**Keywords:** induced ordered weighted evidential reasoning (IOWER); incomplete information; operational quality; comprehensive evaluation; weighting strategy

### 0 引言

随着质量概念在装备建设工作中的不断深入和发展, 加强装备质量评价工作已成为提高装备使用水平、提高部队战斗力的重要手段。美军对装备质量评价工作的开展尤为重视, 主要通过 2 方面来进行: 1) 通过装备的使用能力来对质量进行评价; 2) 通过对通用质量特性信息的收集、分析实现对装备质量的评价<sup>[1]</sup>。国内针对装备质量评价的研究也取得了一些成果。代海飞等<sup>[2]</sup>以某导弹装备为例, 建立了质量评价模型, 利用层次分析法确定权重并利用模糊综合评价法进行综合评价, 最终得到对武器质量的定量评价结果; 刘彦等<sup>[3]</sup>在构建了装甲装备使用阶段质量评价指标体系的基础上, 通过权重聚合以及评价计算实现了对装甲装备使用阶段质量的评价; 王亚鹏等<sup>[4]</sup>对车辆装备质量进行评价, 通过构建车辆装备质量评价指标体系, 运用改进的层

次分析法确定了指标权重, 结合某单位车辆装备进行了示例分析; 李宇恒等<sup>[5]</sup>运用基于 AHP-FCE 模型对装甲装备通用质量特性进行评价, 并以某型坦克为例进行了验证; 曹会智等<sup>[6]</sup>针对影响车辆装备质量的因素所具有的复杂性和不确定性, 利用系统工程中解释结构模型 ISM 的质量评价体系构建方法, 在确定车辆装备质量影响因素逻辑关系的基础上, 求解系统可达矩阵, 构建了多层递阶的质量评价体系解释结构模型。总结其中的关键问题, 包括构建评价指标体系、指标权重的计算等。指标权重体现指标的重要程度, 是评估指标相对重要程度的一种主观评估和客观反映的综合度量<sup>[7]</sup>。目前关于指标赋权的方法大体上可分为主观赋权法和客观赋权法 2 类。主观赋权法体现决策者的偏好, 客观赋权法客观性强, 2 类方法各有利弊<sup>[8]</sup>。文献[8]介绍了 3 种具有综合集成特性的赋权法, 弥补了主客观

收稿日期: 2023-03-24; 修回日期: 2023-04-20

作者简介: 王志(1998—), 男, 河南人, 硕士, 从事装备通用质量特性、装备评价研究。E-mail: 3166678339@qq.com。

赋权法的不足。此外文献[9]提出线性组合赋权方法以及文献[10]通过常和博弈模型，证实了 2 种以上权重混合策略的可行性。

问卷调查是进行装备使用质量满意度调查的常用手段，采用问卷调查的方法，由于专业知识缺乏等原因对某些内容未做评价或部分数据缺失，这种不完全信息对基于问卷调查统计数据展开的综合评价工作带来了挑战。对评价信息缺失的评价问题的处理主要有 2 种思路：1) 将不完全信息转化为完全信息，如运用数理统计方法、粗糙集理论<sup>[11]</sup>等，这些方法大多具有较强的假设条件；2) 运用证据推理 (evidential reasoning, ER) 方法对不完全信息进行直接处理，如文献[12]对语言评价信息不完全，即语言评价信息缺失的多属性群体评价问题进行了讨论，提出了一种基于证据理论的解决方法。笔者采用后者，在对调查结果进行统计分析的基础上，运用 IOWER 方法，对某炮兵营装备的使用质量进行评价并对评价结果进行分析，有利于更准确掌握装备在实际使用中的质量状况。

### 1 集成加权法及多赋权策略的合成赋权方法

集成加权法能很好地解决 2 种因子赋权方法的综合问题，既对主观经验信息加以利用，又从数据角度出发，反映了客观规律。集成加权的模型为<sup>[8]</sup>：

$$W_i^* = \alpha W_{1i} + \beta W_{2i} (i=1, \dots, m), \quad \alpha + \beta = 1. \quad (1)$$

式中： $W_i^*$  是第  $i$  个指标的集成权重； $W_{1i}$  是主观权重； $W_{2i}$  是客观权重； $\alpha, \beta$  分别为主、客观成分所占的比重。利用评价目标值最大化原则可求解出  $\alpha', \beta'$ ，公式如下：

$$\begin{aligned} \max F(\alpha', \beta') &= \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ki} (\alpha' W_{1i} + \beta' W_{2i}); \\ \alpha' + \beta' &= 1, \quad (\alpha', \beta' \geq 0). \end{aligned} \quad (2)$$

式中  $x_{ki}$  是第  $k$  个单元的第  $i$  个指标的值。利用上式求出  $\alpha', \beta'$ 。利用下式进行归一化处理得主、客观成分所占的最佳比重：

$$\alpha = \alpha' / (\alpha' + \beta'), \quad \beta = \beta' / (\alpha' + \beta'). \quad (3)$$

求出后代入模型中即可求得集成权重向量。

采用多种赋权策略，提出 2 个以上权重时的决策方法如下： $a=(a_1, a_2, \dots, a_p)$  作为主观赋权法的混合策略， $a_p$  为第  $p$  种主观赋权法的选取概率。由混合策略  $a$  确定的权重向量为： $W_1^*=(a_1 W_{11} + a_2 W_{12} + \dots + a_p W_{1p})$ 。其中， $a_1, a_2, \dots, a_p \in [0, 1]$ ，且  $a_1 + a_2 + \dots + a_p = 1$ 。令  $b=(b_1, b_2, \dots, b_q)$  为客观赋权法的混合策

略， $b_q$  为第  $q$  种客观赋权法的选取概率。由混合策略  $b$  确定的权重向量为： $W_2^*=(b_1 W_{21} + b_2 W_{22} + \dots + b_p W_{2q})$ 。其中， $b_1, b_2, \dots, b_q \in [0, 1]$ ， $b_1 + b_2 + \dots + b_q = 1$ 。先找到纯策略意义下的解，对应的现实意义就是主客观赋权法各选一种方法赋权，然后利用集成加权模型，进行权重分配。得到使得  $F(\alpha', \beta')$  最大的纯策略意义下的最优权重向量。采用欧氏距离最优集结算法进行混合策略中选取概率的确定，确定最优合成赋权策略，具体步骤如下<sup>[10]</sup>：

- 1) 计算纯策略意义下的最优解  $W^*$  与  $W_{11}, W_{12}, \dots, W_{1p}, W_{21}, W_{22}, \dots, W_{2q}$  的欧氏距离；
- 2) 组合系数和欧氏距离成反比，求得初次确定的  $W_1^*, W_2^*$ 。
- 3) 利用式 (2)，再求得新的最优权重向量  $W^{**} = \alpha W_1^* + \beta W_2^*$ 。
- 4) 将新求得的权重向量代入 1)，直到满足循环停止条件 (范数  $\varepsilon < 0.01$ )。

$$\varepsilon = W^{**} - W^*. \quad (4)$$

### 2 诱导有序加权证据推理算法

运用诱导有序加权证据推理 (IOWER) 方法解决不完全信息多属性综合评价问题的过程与 ER 方法类似，不同之处在于权重不是与一个特定的属性相关而是与一个特定的有序位置相关<sup>[13]</sup>。IOWER 方法可以对信息缺失、区间信度和区间评估等级等情况直接进行处理。

#### 2.1 加权证据推理方法

将评语等级集合记为  $H_n (n=1, \dots, N)$ ，写成置信结构  $S(e_i(a_l)) = \{(H_n, \beta_{n,i}(a_l)), n=1, \dots, N\}$ ，表示被评价对象  $a_l$  的属性  $e_i$  被评为等级  $H_n$  的信度为  $\beta_{n,i}(a_l)$ 。若  $\sum_{n=1}^N \beta_{n,i}(a_l) = 1$  称为完全信息评价，若其值小于 1 就称为不完全信息评价。实施诱导有序加权证据推理 IOWER 方法进行信息集结的核心是对集结信息进行排序。假设有  $L$  个需要集结的信息  $S(e_1), \dots, S(e_L)$ ，权重向量为  $W$ 。  $S(e_i) = \{(H_n, \beta_{n,i}), n=1, \dots, N\}$ ， $i=1, \dots, L$ 。将其描述为二元信息结构  $\langle \eta_i, S(e_i) \rangle$  称为 ER 对， $\eta_i$  称为序诱导变量。

加权证据推理方法具体的步骤如下<sup>[13]</sup>：

- 1)  $M$  个被评价对象的  $L$  个基本属性的评估表示为信度决策矩阵 BDM:  $D_g = (S(e_i(a_l)))_{L \times M}$ 。

2) 确定  $\eta_i$  以及权重向量  $W$ 。

3) 形成有序信度向量  $\lambda_i(a_l)$ ,  $i=1, \dots, L$ 。其中  $\lambda_j(a_l) = (\lambda_{1,j}(a_l), \dots, \lambda_{n,j}(a_l))^T$  是 ER 对中具有第  $j$  大  $\eta$  值的  $\beta_i(a_l) = (\beta_{1,i}(a_l), \dots, \beta_{n,i}(a_l))^T$  值。

4) 计算方案  $a_l$  的每个基本属性的可信度分配。 $m_{H,i}$  表示不属于某个特定评价等级的被分配给整个集合的剩余信度：

$$m_i = w_i \lambda_i(a_l); \quad (5)$$

$$m_{H,i} = \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \bar{m}_{H,i} &= \bar{m}_i(H), \quad \tilde{m}_{H,i} = \tilde{m}_i(H), \\ \sum_{i=1}^L w_i &= 1, \quad i=1, \dots, L. \end{aligned} \quad (7)$$

5) 计算  $L$  个属性的合成信度，即计算  $m_n, \bar{m}_H, \tilde{m}_H$ 。

6) 计算方案  $a_l$  的综合属性的整体信度。将合成的可信度分配归一化即可得到：

$$\{H_n\}: \beta_n = m_n / (1 - \bar{m}_H), \quad n=1, \dots, N; \quad (8)$$

$$\{H_n\}: \beta_H = \tilde{m}_H / (1 - \bar{m}_H). \quad (9)$$

## 2.2 IOWER 算法

文献[14]介绍了 IOWA 算子的定义，IOWER 方法受到 IOWA 算子的启发，其具体步骤如下：

1) 得到评价对象的信度决策矩阵。

2) 通过期望效用计算序诱导变量。

令  $u(H_n)$  表示评语的效用。区分 2 种情况完全信息评价时， $\eta_i$  所对应的第  $i$  个被集结信息的期望效用可计算为：

$$u(i) = \sum_{n=1}^N \beta_{n,i} u(H_n). \quad (10)$$

不完全信息评价时，即  $\beta_{H,i} = 1 - \sum_{n=1}^N \beta_{n,i}$  值大于 0。

建立与  $\eta_i$  相关的期望效用区间。信息  $i$  的最大最小和平均效用即：

$$u_{\min}(i) = (\beta_{1,i} + \beta_{H,i}) u(H_1) + \sum_{n=2}^N \beta_{n,i} u(H_n); \quad (11)$$

$$u_{\max}(i) = (\beta_{N,i} + \beta_{H,i}) u(H_N) + \sum_{n=1}^{N-1} \beta_{n,i} u(H_n); \quad (12)$$

$$u_{\text{avg}}(i) = (u_{\min}(i) + u_{\max}(i)) / 2. \quad (13)$$

即可得到 IOWA 算子的诱导向量。依据  $u_{\text{avg}}(i)$  进行 ER 对的排序时，当且仅当效用区间计算一致时，效用值无差异。

3) 计算位置权向量。

权向量的值不与特定的属性相关而与一个特定

的有序位置相关，文献[15-16]介绍了位置权向量的具体计算方法。

4) 计算有序 ER 对和有序信度向量。

5) 计算  $L$  个属性的合成信度。

6) 计算方案  $a_l$  的综合属性的整体信度以及平均期望效用，得出评价结论。

## 3 炮兵营装备使用质量综合评价

武器装备质量的好坏，尤其是在使用过程中所体现出来的使用质量状况，不仅影响着装备用户对装备动用、维修、储存等工作的感知，而且对装备能否发挥其性能、完成既定任务也产生着重要的影响。科学合理地选择评价指标并建立评价指标体系，是对武器装备使用质量进行评价的基础，并对后续的抽样调查、问卷设计提供依据。通过构建递阶层次型评价指标体系，利用合成赋权策略对部分指标的综合权重进行计算，展示了该方法的具体应用步骤，为指标权重的计算提供新方法。依据装备使用质量满意度评价指标体系得到问卷调查的具体评价指标。针对评价过程的不完全信息，利用 IOWER 方法对某炮兵营装备使用质量进行综合评价，得出最终评价结论。

### 3.1 构建评价指标体系

在构建武器装备使用质量评价指标体系的过程中，需要遵循一定的原则，以保证指标体系构建的合理并能够最终达到评价目的。武器装备的使用质量，即使用过程中固有特性满足使用要求程度。固有特性一般包括通用特性和专用特性。通过对某炮兵营进行实地调研，分析其所属装备类型，结合装备的使用特点对其使用特性进行分析，构建如表 1 所示的装备使用质量满意度评价指标体系<sup>[17]</sup>。由此可得调查问卷的评价指标。既是综合评价的赋权对象，又是调查问卷评价对象设计的依据。

### 3.2 采用合成赋权策略计算指标权重

已知  $Q_{8-i}(i=1, 2, 3, 4, 5)$  指标的专家评估原始数据，10 名专家记为  $P_j(j=1, 2, \dots, 10)$ ，如表 2 所示。采用层次分析法，通过构建判断矩阵，利用 yaahp 软件，计算  $Q_{8-i}$  对  $Q_8$  的权重为  $W_{p1}=[0.101 1, 0.152 3, 0.243 3, 0.311 1, 0.192 2]$ 。另外通过调研利用德尔菲法给出的权重  $W_{p2}=[0.253 1, 0.175 0, 0.196 4, 0.164 1, 0.211 4]$ 、利用熵权信息法得到的权重  $W_{q1}=[0.203 0, 0.133 9, 0.129 6, 0.389 8, 0.143 8]$  可视为一种客观权重。

表 1 装备使用质量满意度评价指标体系

第 1 层	第 2 层	第 3 层
某炮兵营装备使用质量评价 Q	可靠性满意度 Q <sub>1</sub>	故障率满意度 Q <sub>1-1</sub> 、平均故障间隔时间满意度 Q <sub>1-2</sub> 、使用寿命满意度 Q <sub>1-3</sub> 、平均预防性维修间隔时间满意度 Q <sub>1-3</sub>
	维修性满意度 Q <sub>2</sub>	维修时间满意度 Q <sub>2-1</sub> 、平均修复时间满意度 Q <sub>2-2</sub> 、平均预防性维修时间满意度 Q <sub>2-3</sub> 、修复性、维修时间满意度 Q <sub>2-4</sub>
	保障性满意度 Q <sub>3</sub>	任务前准备时间满意度 Q <sub>3-1</sub> 、再次出动准备时间满意度 Q <sub>3-2</sub> 、管理延误时间满意度 Q <sub>3-3</sub> 、使用保障时间满意度 Q <sub>3-4</sub>
	测试性满意度 Q <sub>4</sub>	虚警率满意度 Q <sub>4-1</sub> 、故障检测率满意度 Q <sub>4-2</sub> 、故障隔离率满意度 Q <sub>4-3</sub>
	安全性满意度 Q <sub>5</sub>	损失概率满意度 Q <sub>5-1</sub> 、事故概率满意度 Q <sub>5-2</sub> 、安全可靠度满意度 Q <sub>5-2</sub>
	环境适应性满意度 Q <sub>6</sub>	气候环境适应性满意度 Q <sub>6-1</sub> 、气象环境适应性满意度 Q <sub>6-2</sub> 、地形环境适应性满意度 Q <sub>6-3</sub> 、电磁环境适应性满意度 Q <sub>6-4</sub>
	打击性能满意度 Q <sub>7</sub>	射程满意度 Q <sub>7-1</sub> 、射速满意度 Q <sub>7-2</sub> 、射击精度满意度 Q <sub>7-3</sub> 、毁伤面积满意度 Q <sub>7-4</sub> 、火力反应时间满意度 Q <sub>7-5</sub> 、命中概率满意度 Q <sub>7-6</sub>
	机动性能满意度 Q <sub>8</sub>	最大时速满意度 Q <sub>8-1</sub> 、最大行程满意度 Q <sub>8-2</sub> 、最大爬坡度满意度 Q <sub>8-3</sub> 、涉水深满意度 Q <sub>8-4</sub> 、最大跨越宽满意度 Q <sub>8-5</sub>
	通信性能满意度 Q <sub>8</sub>	组网时间满意度 Q <sub>9-1</sub> 、通信距离满意度 Q <sub>9-2</sub> 、通信速率满意度 Q <sub>9-3</sub> 、抗干扰能力满意度 Q <sub>9-4</sub> 、通话质量满意度 Q <sub>9-5</sub> 、保密能力满意度 Q <sub>9-6</sub>
	防护性能满意度 Q <sub>10</sub>	装甲防护能力满意度 Q <sub>10-1</sub> 、三防系统防护能力满意度 Q <sub>10-2</sub> 、伪装防护能力满意度 Q <sub>10-3</sub> 、烟幕发射防护能力满意度 Q <sub>10-4</sub> 、对空防护能力满意度 Q <sub>10-5</sub> 、声音防护能力满意度 Q <sub>10-6</sub>

表 2 Q<sub>8-i</sub> 指标评估数据

评分指标	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>
Q <sub>8-1</sub>	71	47	64	98	75	20	69	94	67	56
Q <sub>8-2</sub>	35	43	71	48	43	43	38	53	45	84
Q <sub>8-3</sub>	38	50	54	75	70	74	81	82	34	61
Q <sub>8-4</sub>	41	24	18	15	15	27	18	20	61	28
Q <sub>8-5</sub>	48	50	54	41	45	57	53	50	85	99

按照上述步骤首先计算 2 种纯策略意义下的最优解 W\*。由图 1 和 2 可得最优策略为 α'=0.752 0, β'=0.659 2。故 W\*=(0.229 7, 0.155 8, 0.165 2, 0.269 5, 0.179 8)。计算组合系数求得初次确定的 W<sub>1</sub>\*、W<sub>2</sub>\*。利用式(2)，再求得新的最优权重向量 W\*\*=αW<sub>1</sub>\*+βW<sub>2</sub>\*。W\*\*=(0.194 9, 0.150 4, 0.175 5, 0.304 1, 0.175 1)。第一次得到 ε<sub>1</sub>=0.056。由 W\*\*计算组合系数重复上述步骤，直至满足计算范数值小于 0.01。最终得到 ε<sub>1</sub>=0.004 9 时 Q<sub>8-i</sub> 对 Q<sub>8</sub> 的综合权重为 W\*\*=(0.180 0, 0.148 0, 0.179 5, 0.319 9, 0.172 8)。同理可计算各层指标对上一层指标的权重，为 2.1 节加权证据推理中权重向量的计算提供新思路。

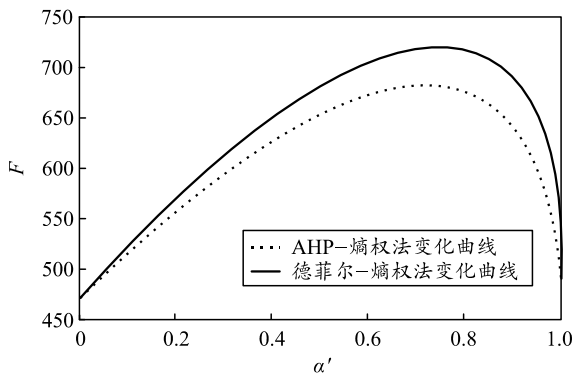


图 1 2 种纯策略下集成加权法 F 值随着 α' 变化

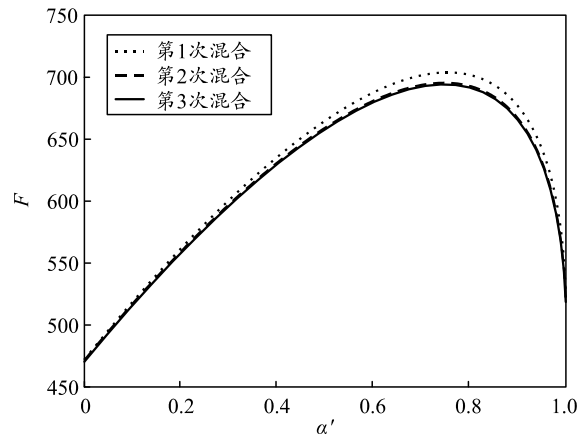


图 2 3 次混合策略下 F 值随着 α' 变化

### 3.3 IOWER 装备使用质量综合评价

限于篇幅，笔者以打击性能满意度为例介绍 IOWER 方法的具体应用。以打击性能满意度调查问卷为例，采用 5 级划分法，即 H<sub>i</sub>={H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>3</sub>, H<sub>4</sub>, H<sub>5</sub>}={非常不满意、比较不满意、一般、比较满意、非常满意}，共 63 人次参与调查，其中装备操作人员 53 人、指挥员 5 人、参谋机关参谋人员及部门领导 5 人，结果统计如表 3 所示<sup>[18]</sup>。考虑到不同人员专业方向的侧重性以及工作岗位不同，填写调查问卷时允许对无法评价的指标不予评级，并最终对答卷的有效性进行一定把关。这样做有利于保证评价真实性。按照 2.2 节的步骤进行计算。将表 3 中信息转化为信度决策矩阵，如表 4 所示。计算序诱导变量，给定 5 个评价等级的效用值 u(H<sub>1</sub>)=0.2, u(H<sub>2</sub>)=0.4, u(H<sub>3</sub>)=0.6, u(H<sub>4</sub>)=0.8, u(H<sub>5</sub>)=1。由式(10)一(12)，计算打击性能满意度的诱导变量，如表 5 所示。

表 3 打击性能满意度调查问卷结果汇总

满意度指标	非常满意	比较满意	一般	比较不满意	非常不满意	未评价	满意度指标	非常满意	比较满意	一般	比较不满意	非常不满意	未评价
射程	8	32	21	2	0	0	毁伤面积	19	22	16	3	0	3
射速	8	17	26	12	0	0	火力反应时间	5	16	21	15	0	6
射击精度	14	27	15	3	0	4	命中概率	24	23	11	2	0	3

表 4 信度决策矩阵

射程	射速	射击精度	毁伤面积	火力反应时间	命中概率
$\{(H_2, 0.032)(H_3, 0.333)(H_4, 0.508)(H_5, 0.127)\}$	$\{(H_2, 0.190)(H_3, 0.413)(H_4, 0.270)(H_5, 0.127)\}$	$\{(H_2, 0.048)(H_3, 0.238)(H_4, 0.429)(H_5, 0.222)\}$	$\{(H_2, 0.048)(H_3, 0.254)(H_4, 0.349)(H_5, 0.302)\}$	$\{(H_2, 0.238)(H_3, 0.333)(H_4, 0.254)(H_5, 0.079)\}$	$\{(H_2, 0.032)(H_3, 0.175)(H_4, 0.365)(H_5, 0.381)\}$

表 5 诱导变量计算结果

射程	射速	射击精度	毁伤面积	火力反应时间	命中概率
0.746	0.668	0.765([0.74, 0.79])	0.78([0.76, 0.80])	0.635([0.60, 0.67])	0.82([0.80, 0.84])

利用文献[16]提及的基于正态分布理论的权重方法计算位置权向量：

$$W = (0.0865, 0.1716, 0.2419, 0.2419, 0.1716, 0.0865)^T。$$

排序得到有序 ER 对以及有序信度向量如表 6。

表 6 排序结果

序号	期望效用	信度向量
1	0.820	$\{(H_2, 0.032)(H_3, 0.175)(H_4, 0.365)(H_5, 0.381)(H_H, 0.047)\}$
2	0.780	$\{(H_2, 0.048)(H_3, 0.254)(H_4, 0.349)(H_5, 0.302)(H_H, 0.047)\}$
3	0.765	$\{(H_2, 0.048)(H_3, 0.238)(H_4, 0.429)(H_5, 0.222)(H_H, 0.063)\}$
4	0.746	$\{(H_2, 0.032)(H_3, 0.333)(H_4, 0.508)(H_5, 0.127)\}$
5	0.668	$\{(H_2, 0.190)(H_3, 0.413)(H_4, 0.270)(H_5, 0.127)\}$
6	0.635	$\{(H_2, 0.238)(H_3, 0.333)(H_4, 0.254)(H_5, 0.079)(H_H, 0.096)\}$

计算基本信度分配得  $\bar{m}_H = 0.4$ 、 $\tilde{m}_H = 0.03$  以及  $m_n$ 。由式(8)和(9)计算打击性能满意度综合评级结果，如表 7 所示。打击性能满意度指标的平均期望效用值  $u_{avg} = 0.7312$ 。

表 7 打击性能满意度综合评级结果

非常满意	比较满意	一般	比较不满意	非常不满意	$\beta_H$
0.153	0.419	0.308	0.069	0	0.051

同理，依次计算出其他第 2 层指标的综合评级结果以及期望效用值。利用 IOWER 算法，计算第 1 层指标的综合评级结果。最终得到某炮兵营装备使用质量满意度指标的综合评级结果为  $\{(H_2, 0.080), (H_3, 0.193), (H_4, 0.313), (H_5, 0.240), (H_H, 0.174)\}$ ，平均期望效用值为 0.7426。由此得出炮兵营装备使用质量满意度介于比较满意和一般之间。这是由于最终的满意度评价等效未评级人数较多，平均期望效用值的计算考虑了这部分因素的影响，给出了 2 种极端情况下的均值，提出了客观评价结论。

### 4 结论

分析结果表明：IOWER 方法能够解决不完全信息对综合评价的影响，并给出使用质量满意度指标

效用值区间，计算出平均期望效用值，给出更合理的评价结果，有利于更准确地掌握装备在实际使用中的质量状况；并可对例如信息模糊、信息缺失、区间信度和区间评估等级等不完全信息直接进行处理，在装备综合评价中具有广阔的应用前景。

### 参考文献：

- [1] REN Y, QIN X. The implementation model of the FRACAS based-on PDM and its fabrication on the teamcenterplatform[C]//The Proceedings of 2009 8th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety (Vol. II), 2009.
- [2] 代海飞, 刘小方, 肖志诚. 基于模糊综合评价的现役武器装备质量评价[J]. 四川兵工学报, 2013, 34(6): 79-82.
- [3] 刘彦, 陈春良, 石文华, 等. 基于 STT 与粗糙集的装甲装备使用阶段质量评价研究[J]. 兵工自动化, 2015, 34(8): 27-31.
- [4] 王亚鹏, 曹会智, 李太慧, 等. 车辆装备质量综合评价方法研究[J]. 军事交通学院学报, 2010, 12(1): 30-33.
- [5] 李宇恒, 刘福胜, 刘永权. 新型装甲装备通用质量特性评价方法研究[J]. 价值工程, 2016(1): 228-231.
- [6] 曹会智, 薛元飞, 王亚鹏, 等. 基于 ISM 的车辆装备质量评价体系构建方法研究[J]. 军事交通学院学报, 2009, 11(4): 44-48.
- [7] 薛会琴. 多属性决策中指标权重确定方法的研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2008: 6-10.
- [8] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 74-78.
- [9] 刘靖旭, 谭跃进, 蔡怀平. 多属性决策中的线性组合赋权方法研究[J]. 国防科技大学学报, 2005, 27(4): 121-124.
- [10] 曹林, 卢厚清, 冯玉芳. 基于博弈论的评估指标权重分配模型[J]. 军事运筹与系统工程, 2019, 33(1): 11-14.