

doi: 10.7690/bgzdh.2024.08.015

基于 AHP-FCE 法的“低慢小”目标防控分队装备体系任务满意度评估

张 皓¹, 吴虎胜¹, 王伟博²

(1. 武警工程大学研究生大队, 西安 710086; 2. 武警第二机动总队, 四川 南充 637000)

摘要: 针对无人机带来的风险和挑战, 构建“低慢小”目标防控分队装备体系任务满意度评估指标体系。分析影响评估的能力指标因素, 采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)和模糊综合评价法(fuzzy comprehensive evaluation, FCE)相结合的方式对其任务满意度进行评估, 并提供完善及优化思路。评估结果表明: 该体系能有效完成针对“低慢小”目标的防控任务, 解决该防控分队装备体系任务满意度评估中存在的确定性因素对评估的影响。

关键词: 任务满意度; 层次分析法; 模糊综合评价; 综合评估结果

中图分类号: V279 **文献标志码:** A

Task Satisfaction Evaluation of Equipment System for “Low-slow-small” Target Prevention and Control Units Based on AHP-FCE Method

Zhang Hao¹, Wu Husheng¹, Wang Weibo²

(1. Graduate Brigade, Armed Police Engineering University, Xi'an 710086, China;

2. Armed Police Second Mobile Corps, Nanchong 637000, China)

Abstract: Aiming at the risks and challenges brought by UAV, the evaluation index system of mission satisfaction of equipment system of “low, slow and small” target prevention and control unit is constructed. Based on the analysis of the factors affecting the evaluation, the analytic hierarchy process (AHP) and the fuzzy comprehensive evaluation (FCE) are combined to evaluate the task satisfaction. And provide ideas for improvement and optimization. The evaluation results show that the system can effectively complete the prevention and control tasks for the “low, slow and small” targets, and effectively solve the impact of the uncertain factors on the evaluation of the mission satisfaction evaluation of the equipment system of the prevention and control unit.

Keywords: task satisfaction; AHP; FCE; comprehensive evaluation results

0 引言

近年来, 在社会运用层面, 随着以民用无人机为代表的具有“低慢小”特征的飞行器不受控生产、使用、扩散和有序发展, 使得这类“低慢小”目标市场面临失控风险, 已成为国家安全潜在的非传统空中威胁, 对公共安全特别是有重大社会活动时期的城市安全稳定构成威胁, 影响着社会的稳定与和谐发展。在军事作战层面, 随着无人机技术的高速发展, 不断推动无人机作战空间全域化发展、作战功能全方位扩展、作战样式集群化发展, 作战手段隐蔽性升级、作战体系智能化发展, 使其逐步从战场配角演变成主战力量之一^[1-2]。在俄乌军事冲突中, 双方的无人机发挥着及其重要的作用, 无论是侦察情报, 还是定位攻击, 都出现了大量无人机

的身影, 进一步凸显出“低慢小”无人机带来的风险挑战, 如何反制“低慢小”无人机已成为各国军队防空作战的重点^[3-5]。

笔者以“低慢小”目标防控分队装备体系为研究对象, 从任务完成及满意度角度出发, 进行综合评估。防控分队装备体系的任务满意度评估是检验其是否能够具备打击力、机动力、防护力、保障力和信息力, 实现作战效能的唯一根本标准。为实现作战效能而进行的科学合理的任务满意度评估是有益于为防控分队装备体系建设及优化提供数据支撑和进行决策辅助。故以影响评估的装备体系能力指标因素为基础, 构建“低慢小”目标防控分队装备体系任务满意度评估指标体系, 应用层次分析法(AHP)和模糊综合评价法(FCE)对其进行评估, 得到评估结果^[6-7]。

收稿日期: 2024-04-13; 修回日期: 2024-05-15

第一作者: 张 皓(1993—), 女, 青海人, 硕士。

1 构建装备体系任务满意度的评估体系

1.1 影响评估体系的重要指标因素

“低慢小”目标防控分队装备体系从任务完成度层面出发，要实现探测跟踪预警、识别定位处置及指挥决策控制3大功能。其中探测跟踪预警是基础，是实现识别定位、高效处置的前提，而指挥决策控制贯穿任务全程，确保能够集成化、系统化、综合化的合理配置体系内装备，为防控分队圆满完成任务提供核心竞争力，故影响该评估体系的重要指标因素便是需要具备的能力需求^[8]，具体如下：

1) 指挥决策能力。

指挥决策能力是防控分队作战前期根据收集到的现场态势信息，以指挥员主观决策为主，配合使用智能化电子平台系统、指挥控制设备及系统等辅助工具，相互协同，发挥各自优势，利用大数据和智能化无人机技术高速发展，全程进行高效通信传输，完成现场任务分配和任务执行控制。

2) 机动保障能力。

机动保障能力是防控分队装备体系构成需要实现的最基础的功能。鉴于“低慢小”无人机作战入侵方式的特殊性，要求防控分队处置时必须根据现场地域环境，灵活选择，可快速机动架设固定式“低慢小”无人机防控处置装备，必要时也可跟随防控分队人员进行部署，选择车载式或单兵便携式“低慢小”无人机防控处置装备，构建形成一定作用距离的防控处置圈，利于及时高效的完成任务。

3) 探测跟踪能力。

跟踪探测能力是“低慢小”防控分队完成处置任务的前提和基础，也为指挥决策能力中的态势感知提供了重要数据内容。通过使用雷达探测、无线电监测、光电识别跟踪、声波监测等手段，确保对入侵的“低慢小”无人机实现侦察和预警。同时可以将多个侦测设备的目标信息进行汇总之后，利用大数据融合处理算法实现任务区域内的清晰态势显示，在提高探测预警能力的同时也为指挥决策提供了更为准确的数据信息。

4) 勘察取证能力。

勘察取证能力是防控分队人员下步进行电子对抗或拒止打击，实现对入侵“低慢小”无人机打击控制和操作人员等精确抓捕的有效前提，也是在当下网络高速发展和国际社会舆情复杂多样的情况下，避免出现恶意剪辑视频图像、抹黑打击、扭曲

事实、扩大舆论影响等行为的必备功能。识别定位的高效性和准确性以及对现场图像、音视频和电子信号等的全程取证，是勘察取证能力发挥作用的具体体现，为高效完成防控任务提供准确的位置信息和较充分的准备实施时间。

5) 电子对抗能力。

电子对抗能力是防控分队人员采取无线电干扰“软杀伤”方式来反制入侵的“低慢小”无人机，同时鉴于防控目标多依赖卫星导航引导飞行，也可使用导航信号欺骗设备来进行诱骗，确保对入侵的“低慢小”无人机目标实施有效反制，避免对现场人员造成伤害。

6) 拒止能力。

拒止能力是防控分队人员使用动能武器和定向能武器，通过“硬杀伤”方式对入侵的“低慢小”目标或蜂群进行毁伤打击，实现对入侵目标的高效反制，在我方掌控范围内使其丧失飞行能力。相比于电子对抗能力，拒止打击是对入侵“低慢小”目标的机体及核心部件进行击毁，对现场环境有着更高的安全要求，且造成入侵目标永久性损毁不利于后期数据研究和情报收集。

7) 安全保密能力。

安全保密能力贯穿于防控分队执行任务全程，确保将任务过程中的数据信息进行加密处理、及时传输。在任务过程中得到的数据资料、态势信息并不是一股脑的全部传输，而是利用人工智能技术、大数据收集及融合处理算法将信息进行汇总组网，确保提供的信息能够高效应用于指挥决策及任务执行全程，从而大大增强防控分队的处置能力，提高任务完成的效率。

1.2 评估体系结构

立足影响评估体系的重要指标因素，构建“低慢小”目标防控分队装备体系任务满意度的评估指标体系^[9-10]。如图1所示，体系结构第1层为7个一级指标，第2层为16个二级指标。

2 基于层次分析法计算指标权重

对于构建针对“低慢小”目标装备体系任务满意度指标评估体系，使用AHP分析出影响评估指标体系的各层级指标因素，进行两两比较得到判断矩阵，再通过计算判断矩阵的特征值及特征向量进行一致性检验，最终得到各层次指标因素的权重值，具体过程如图2所示。

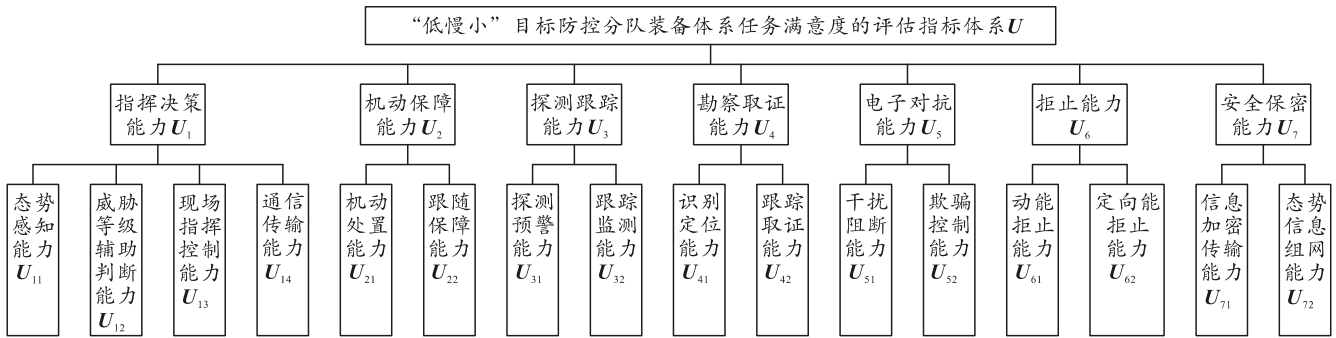


图 1 “低慢小”目标防控分队装备体系任务满意度的评估指标体系 U

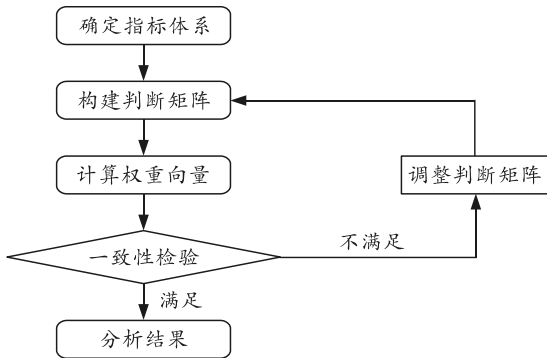


图 2 应用层次分析法进行计算的过程

2.1 构建判断矩阵

针对某层来讲，在比较第 i 个因素与第 j 个因素相对于上一层某个因素的重要性时，使用数量化的相对重要度 a_{ij} 来表示，假设共有 n 个元素参与比较，则矩阵 A 称为判断矩阵。

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} = (a_{ij})_{n \times n} \quad (1)$$

对于指标间的重要程度关系，引入美国运筹学家 Saaty 根据绝大多数人认知事物的心理习惯，于 20 世纪 70 年代初期提出一种主观赋值的评价方法，即用 1—9 及其倒数作为标度来确定 a_{ij} 的值^[11]，具体标度法参数如表 1 所示。

表 1 Saaty 标度法参数

标度	含义
1	表示 2 个因素相比，具有同样重要性
3	表示 2 个因素相比，一个比另一个稍微重要
5	表示 2 个因素相比，一个比另一个明显重要
7	表示 2 个因素相比，一个比另一个强烈重要
9	表示 2 个因素相比，一个比另一个极端重要
2,4,6,8	表示上述两相邻判断的中值
倒数	若因素 i 与 j 比较得判断 a_{ij} ，则因素 i 与 j 比较得判断为 $a_{ij}=1/a_{ji}$

在已经构建好的“低慢小”目标防控分队装备体系任务满意度评估指标体系的基础上，邀请专家根据自己的专业知识和工作经验，对各指标之间的

重要程度关系进行打分，最终得到该指标体系的判断矩阵。

1) 对于一级能力指标判断矩阵的构建如表 2 所示。

表 2 一级能力指标判断矩阵

U	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7
U_1	1	4	5	6	4	4	5
U_2	1/4	1	3	4	2	3	3
U_3	1/5	1/3	1	2	2	3	4
U_4	1/6	1/4	1/2	1	2	3	3
U_5	1/4	1/2	1/2	1/2	1	3	4
U_6	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1	3
U_7	1/5	1/3	1/4	1/3	1/4	1/3	1

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 5 & 6 & 4 & 4 & 5 \\ 1/4 & 1 & 3 & 4 & 2 & 3 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 2 & 2 & 3 & 4 \\ 1/6 & 1/4 & 1/2 & 1 & 2 & 3 & 3 \\ 1/4 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 3 & 4 \\ 1/4 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1/4 & 1/3 & 1/4 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

2) 对于二级能力指标判断矩阵的构建。

同理可得二级指标 U_1 — U_7 为对象的判断矩阵的构建：

$$U_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 4 \\ 1/3 & 1 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}; \quad U_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{bmatrix};$$

$$U_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3/2 \\ 2/3 & 1 \end{bmatrix}; \quad U_4 = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{bmatrix}; \quad U_5 = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix};$$

$$U_6 = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix}; \quad U_7 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}。$$

2.2 计算指标权重

为了得到一级能力指标及其所属的二级能力指标的权重值，需从上而下逐层进行同一层元素对于上一层次因素相对重要性的排序权值，权重的计算方式有很多种，本文中使用特征值法进行计算。

2.2.1 求解排序权向量

此步骤的目的在于计算出同层级各指标的排序权向量。求解同一层级各指标权重向量的过程被称为层次单排序，即在已构建好的矩阵基础上，针对上一层元素将本层级中所有元素两两评比，并展开进行重要顺序的层次排序。以矩阵 A 举例，计算步骤如下所示：

- 1) 计算第 i 行各元素乘积的 n 次方根：

$$M_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n} \quad (3)$$

- 2) 对向量进行归一化处理：

$$W_i = M_i / \sum_{j=1}^n M_j; \quad W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

得到特征向量 $W=(W_1, W_2, W_3, \dots, W_i)^T$ ，即为所求的排序权向量。

- 3) 计算判断矩阵的最大特征根：

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} w_i / w_i \right) \quad (5)$$

2.2.2 判断矩阵的一致性检验

由于在构造判断矩阵时，可能会出现逻辑性错误，因此在得到排序权向量后，需要进行判断矩阵的一致性检验。

- 1) 计算一致性指标 CI ：

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (6)$$

2) 计算随机一致性比值 CR ：通过判断矩阵 n 的阶数来选择平均随机一致性指标 RI 的值，进行随机一致性比值(协调率) CR 的计算，即计算过程为：

$$CR = CI / RI \quad (7)$$

如果 $CR \leq 0.10$ ，就可以认为矩阵 A 通过一致性检验，如果 $CR > 0.10$ 时，说明其没有通过一致性检验，就需要检查现有判断矩阵是否存在逻辑问题，重新录入判断矩阵进行分析。平均随机一致性指标的具体数值如表 3 所示。

表 3 AHP 中平均随机一致性指标 RI 的具体数值(与阶数 n 相关)

n	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.58	0.94	1.12	1.24	1.32	1.41	1.46
n	10	11	12	13	14	15	
RI	1.49	1.52	1.56	1.56	1.58	1.59	

根据 2.2 节中的计算公式及一致性检验，可得到判断矩阵 U 中一级能力指标要素的权重值为：

$$W=(0.404, 0.194, 0.123, 0.094, 0.092, 0.056, 0.037)。$$

同理，通过计算可得到判断矩阵 U_1-U_7 中二级能力指标要素的权重值，分别为：

$$W_1=(0.508, 0.245, 0.154, 0.093);$$

$$W_2=(0.667, 0.333); \quad W_3=(0.6, 0.4);$$

$$W_4=(0.667, 0.333); \quad W_5=(0.75, 0.25);$$

$$W_6=(0.75, 0.25); \quad W_7=(0.333, 0.667)。$$

最终，经过归一化计算得到各二级能力指标对总目标权重为：

$$W_u=(0.205, 0.099, 0.062, 0.038, 0.129, 0.065, 0.074, 0.049, 0.063, 0.031, 0.069, 0.023, 0.042, 0.014, 0.012, 0.025)。$$

同时明确由此计算得到的权重值可以作为下步模糊综合评价的指标权重，即作为计算最终综合评估结果的重要一环。

3 基于模糊综合评价法进行综合评估

鉴于“低慢小”目标防控分队装备体系任务满意度评估涉及到很多难以精确描述或准确量化的指标因素，故在已经通过 AHP 得到影响任务满意度指标因素权重值的基础上，应用 FCE 进行模糊综合评估并得到最终的综合评价结果^[12]。

3.1 建立评价对象的指标因素集和评价集

3.1.1 指标因素集 U

设某个问题的评价指标有 n 个，故将其称为指标因素集 U 。基于建立的“低慢小”目标防控分队装备体系任务满意度的评估指标体系，确定影响总目标的一级指标因素集：

$U=\{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7\}$ ，即 $U=\{\text{指挥决策能力, 机动保障能力, 探测跟踪能力, 勘察取证能力, 电子对抗能力, 拒止能力, 安全保密能力}\}$ 。

确定影响一级指标的二级指标因素集为：

$U_1=\{U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}\}$ ，即 $U_1=\{\text{态势感知能力, 威胁等级辅助判断能力, 现场指挥控制能力, 通信传输能力}\}$ 。

$U_2=\{U_{21}, U_{22}\}$ ，即 $U_2=\{\text{机动处置能力, 跟随保障能力}\}$ 。

$U_3=\{U_{31}, U_{32}\}$ ，即 $U_3=\{\text{探测预警能力, 跟踪监测能力}\}$ 。

$U_4=\{U_{41}, U_{42}\}$ ，即 $U_4=\{\text{识别定位能力, 跟踪取证能力}\}$ 。

$U_5=\{U_{51}, U_{52}\}$ ，即 $U_5=\{\text{干扰阻断能力, 欺骗控制能力}\}$ 。

$U_6=\{U_{61}, U_{62}\}$ ，即 $U_6=\{\text{动能拒止能力, 定向能}\}$ 。

拒止能力}。

$U_7=\{U_{71}, U_{72}\}$ ，即 $U_7=\{\text{信息加密传输能力, 态势信息组网能力}\}$ 。

3.1.2 评价集 V

设某个问题所有可能的评语有 m 个，称为评价集 V 。基于建立的“低慢小”目标防控分队装备体系任务满意度的评估指标体系，可以将评价集设为： $V=\{\text{优秀, 良好, 一般, 较差, 极差}\}$ ，转化为百分制对应为 $[100, 90, 60, 45, 30]$ ，其中 $[100, 90]$ 为“优秀”， $[90, 60]$ 为“良好”， $[60, 45]$ 为“一般”， $[45, 30]$ 为“较差”， $[30, 0]$ 为“差”。

3.2 确定指标权重和模糊判断矩阵

3.2.1 确定指标权重 W

一级能力指标的权重值为：

$W=\{0.404, 0.194, 0.123, 0.094, 0.092, 0.056, 0.037\}$ 。

二级能力指标的权重值为：

$W_1=\{0.508, 0.245, 0.154, 0.093\}$ ；

$W_2=\{0.667, 0.333\}$ ； $W_3=\{0.6, 0.4\}$ ；

$W_4=\{0.667, 0.333\}$ ； $W_5=\{0.75, 0.25\}$ ；

$W_6=\{0.75, 0.25\}$ ； $W_7=\{0.333, 0.667\}$ 。

3.2.2 建立模糊判断矩阵 R

对于二级能力指标，通过专家打分，对数据进行适当的处理，求得归一化指标关于等级的隶属度，建立同层级因素模糊评判矩阵，即为：

$$R = \begin{bmatrix} R_{U_1} \\ R_{U_2} \\ \vdots \\ R_{U_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中 r_{ij} 为 U 中因素 U_i 对 V 中等级 V_j 的隶属关系。

通过邀请并收集十位专家评价表可得到：

$$R_{U_1} = \begin{bmatrix} 0 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.5 & 0.1 \\ 0 & 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.7 & 0.1 & 0.1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$R_{U_2} = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \end{bmatrix};$$

$$R_{U_3} = \begin{bmatrix} 0 & 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 \end{bmatrix};$$

$$R_{U_4} = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.2 \end{bmatrix};$$

$$R_{U_5} = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \end{bmatrix};$$

$$R_{U_6} = \begin{bmatrix} 0 & 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 \end{bmatrix};$$

$$R_{U_7} = \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.5 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.4 & 0.2 \end{bmatrix}。$$

所有数据如表 4 所示。

表 4 “低慢小”目标防控分队装备体系任务满意度评估的指标权重及等级评价

评价对象因素论域 U	权重 W	因素集 U_i	权重 W_i	评价等级论域 V				
				优秀	良好	一般	较差	差
指挥决策能力 U_1	0.404	态势感知能力 U_{11}	0.205	0	0.3	0.4	0.3	0
		威胁等级辅助判断能力 U_{12}	0.099	0	0	0.4	0.5	0.1
		现场指挥控制能力 U_{13}	0.062	0	0.3	0.7	0	0
		通信传输能力 U_{14}	0.038	0.1	0.7	0.1	0.1	0
机动保障能力 U_2	0.194	机动处置能力 U_{21}	0.129	0	0.2	0.6	0.2	0
		跟随保障能力 U_{22}	0.065	0	0.2	0.6	0.2	0
探测跟踪能力 U_3	0.123	探测预警能力 U_{31}	0.074	0	0.4	0.4	0.2	0
		跟踪监测能力 U_{32}	0.049	0	0.3	0.4	0.3	0
勘察取证能力 U_4	0.094	识别定位能力 U_{41}	0.063	0	0.2	0.5	0.3	0
		跟踪取证能力 U_{42}	0.031	0	0.1	0.4	0.3	0.2
电子对抗能力 U_5	0.092	干扰阻断能力 U_{51}	0.069	0	0.2	0.7	0.1	0
		欺骗控制能力 U_{52}	0.023	0	0	0.2	0.4	0.4
拒止能力 U_6	0.056	动能拒止能力 U_{61}	0.042	0	0.4	0.5	0.1	0
		定向能拒止能力 U_{62}	0.014	0	0.1	0.3	0.5	0.1
安全保密能力 U_7	0.037	信息加密传输能力 U_{71}	0.012	0	0.1	0.5	0.4	0
		态势信息组网能力 U_{72}	0.025	0	0	0.4	0.4	0.2

3.3 模糊综合评价

3.3.1 计算模糊综合评判向量

根据 3.2 节中得到的判断矩阵进行模糊综合评

价，对于二级指标因素集 U_1-U_7 ，可得到其模糊综合评判向量： $B_i=W_i * R_i$ 。

即

$$B_1=W_1 * R_{U_1}=(0.205, 0.099, 0.062, 0.038)*$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.5 & 0.1 \\ 0 & 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.7 & 0.1 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} = (0.004, 0.107, 0.169, 0.115, 0.010). \quad (9)$$

归一化计算可得：

$$\mathbf{B}_1 = (0.010, 0.264, 0.417, 0.284, 0.025). \quad (10)$$

同理可得 $B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7$ 的值：

$$\mathbf{B}_2 = (0, 0.201, 0.598, 0.201, 0);$$

$$\mathbf{B}_3 = (0, 0.360, 0.402, 0.238, 0);$$

$$\mathbf{B}_4 = (0, 0.170, 0.468, 0.298, 0.064);$$

$$\mathbf{B}_5 = (0, 0.152, 0.576, 0.174, 0.098);$$

$$\mathbf{B}_6 = (0, 0.327, 0.455, 0.200, 0.018);$$

$$\mathbf{B}_7 = (0, 0.027, 0.433, 0.405, 0.135).$$

由上述计算结果，可得到一级指标的模糊判断矩阵为：

$$\mathbf{R}_U = \begin{bmatrix} 0.010 & 0.264 & 0.417 & 0.284 & 0.025 \\ 0 & 0.201 & 0.598 & 0.201 & 0 \\ 0 & 0.360 & 0.402 & 0.238 & 0 \\ 0 & 0.170 & 0.468 & 0.298 & 0.064 \\ 0 & 0.152 & 0.576 & 0.174 & 0.098 \\ 0 & 0.327 & 0.455 & 0.200 & 0.018 \\ 0 & 0.027 & 0.433 & 0.405 & 0.135 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

从而得到一级指标因素集 U 的模糊综合评判向量为：

$$\mathbf{B} = \mathbf{W} * \mathbf{R}_U = (0.004, 0.239, 0.472, 0.253, 0.031). \quad (12)$$

3.3.2 分析综合评判结果

1) 依据二级指标的模糊综合评判向量。

通过上述结果，可以得出该指标体系中指挥决策能力、机动保障能力、探测跟踪能力、勘察取证能力、电子对抗能力、拒止能力和安全保密能力 7 项指标中达到“优秀”“良好”的隶属度为 0.274、0.201、0.360、0.170、0.152、0.327 和 0.027，达到“一般”以上的隶属度为 0.691、0.799、0.762、0.638、0.728、0.782 和 0.460。专家从实际角度出发评估各项能力现状，总体得到的评估结果比较客观。

具体分析得到的计算数据，以达到“一般”以上为标准，机动保障能力的隶属度值为最大。由此可以看出：该能力在现有装备体系中属于较强的组成部分，即现阶段有部分装备能够配合防控分队顺利完成使命任务，实现打击反制，也说明在现有的

“低慢小”目标防控分队装备体系中，分队能够快速架设车载式或便携反制装备。其中分队中人的主观能动性略高于现有装备实现的能力需求，这便是下一步需要调整和解决的问题，为下一步装备体系的细化完善及升级优化奠定数据基础，推动发展适用于不同场景、不同反制技术原理的装备，以增强“低慢小”目标防控分队装备体系的作战能力，来提高该装备体系的任务满意度。

同时也可以根据得出的数据信息证明对于影响“低慢小”目标防控分队装备体系任务满意度评估的能力指标因素的提出，基本方向是正确的；但现有装备要高质量完成使命任务并实现体系内装备的能力需求有困难，需要进一步去创新、开拓、发展强大的反制“低慢小”目标的新型科技装备。

2) 依据一级指标的模糊综合评判向量。

通过上述计算结果，得出该装备体系达到“一般”的隶属度值最大，为 0.472。排二、三隶属度值的为“较差”及“良好”，分别为 0.253、0.239，由此可以看出该装备体系还有很大的提升及发展空间。从现有反制技术的发展水平及装备的实际使用情况看，反制的能力水平还不够稳定，作用距离等还比较受限。同时集成装备综合指挥系统的能力发展也有待进一步提高，无论是作为贯穿任务全程的安全保密传输，还是能够最大限度发挥指挥员的指挥能力及提高任务分队处置能力的态势分析、辅助决策等，都必然是未来“低慢小”目标防控分队快速发展的大趋势。针对某些隶属度值低的能力，要加强分析、研究其可能存在的某些技术缺点或发展瓶颈，通过有效解决其可能存在的会影响体系整体作战效能的问题，来增强防控分队处置“低慢小”目标的作战能力，高效完成处置任务。

3.3.3 得出综合评估结论

根据评价集 V 中转化为百分制的参数，可计算该防控分队装备体系任务满意度评估的最终分数为：

$$\mathbf{C} = \mathbf{B} * \mathbf{V}^T = (0.004, 0.239, 0.472, 0.253, 0.031) *$$

$$\begin{bmatrix} 100 \\ 90 \\ 60 \\ 45 \\ 30 \end{bmatrix} = 62.545. \quad (13)$$

同理可以求出指挥决策能力、机动保障能力、探测跟踪能力、勘察取证能力、电子对抗能力、拒止能力和安全保密能力的评分分别为：

$$C_1=B_1*V^T=63.31; C_2=B_2*V^T=63.015;$$

$$C_3=B_3*V^T=67.23; C_4=B_4*V^T=58.71;$$

$$C_5=B_5*V^T=59.01; C_6=B_6*V^T=66.27;$$

$$C_7=B_7*V^T=50.685。$$

根据计算得出的评估最终分数，可以看出“低慢小”目标防控分队装备体系的总体任务满意度评分为 62.545，即该装备体系作战效能目前属于及格以上水平，基本具备完成防控任务的作战能力，但受制于现有防控装备的发展情况，仍有很大的发展空间和推广使用的发展前景。而各项能力因素的评估分数基本在及格线徘徊，甚至有 3 项低于 60 分，说明能力需求在现有条件下还不能够很好的得到满足，要想高质量完成防控任务还有很长的路要走。此次的评估数据能够更实际更直观反映出现有各项能力的长短优劣，研究如何提升并加强体系中具体装备的使用能力及防控分队人员与装备的配合使用，是我们下一步的工作重点。

4 结束语

笔者基于 AHP 和 FCE，构建的“低慢小”目标防控分队装备体系任务满意度的评估指标体系，通过定性和定量相结合的方法，能够较好解决其中的不确定性问题，最终较为客观准确地反映出该装备体系针对任务满意度的作战效能评估。同时对于评估数据中反映出的薄弱环节或瓶颈问题，未来要尽可能针对不同的能力制定不同的解决方案，为该

装备体系的升级优化提供实际的工作思路。

参考文献：

[1] 李宗璞, 廉峰, 康大明. 重要目标面临的无人机威胁形式分析[J]. 飞航导弹, 2019(7): 47-50.

[2] 王正刚, 康青, 荀怡佳, 等. 低慢小无人机对军事区域的安全威胁及其应对方法[J]. 国防科技, 2021, 42(3): 65-71.

[3] 刘施阳, 师帅. 纳卡冲突中无人机的应用与启示[J]. 兵工自动化, 2021, 40(11): 43-45, 59.

[4] 吴静, 蔡海锋, 刘俊良. 纳卡地区冲突无人机攻防运用分析及地空反无人对策建议[J]. 现代防御技术, 2021, 49(3): 13-20.

[5] 张阳. 纳卡冲突中无人机攻防装备运用及典型作战场景分析[J]. 指挥控制与仿真, 2022, 44(5): 31-37.

[6] 寇昆湖, 刘登攀, 鹿珂珂, 等. 无人机作战效能评估方法研究综述[J]. 兵工自动化, 2022, 41(11): 58-62, 76.

[7] 方勇. 基于 ADC 和 AHP 的 UUV 装备作战效能分析[J]. 兵工自动化, 2022, 41(10): 84-87.

[8] 张皓, 吴虎胜, 彭强. “低慢小”无人机反制装备及关键技术发展需求综述[J]. 航空兵器, 2022, 29(5): 43-52.

[9] 赵彬, 黄志坚, 朱启明, 等. 基于 AHP-FCE 法的指挥控制能力系统效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(5): 104-107.

[10] 邓海飞, 刘晨涛, 李胜. 基于模糊层次分析法的无人机系统效能评估方法[J]. 航空兵器, 2005(4): 40-42.

[11] 马欢, 车敏. 基于层次分析-模糊综合评估的 LINK-16 作战效能评估模型研究[J]. 舰船电子对抗, 2014, 37(2): 69-73.

[12] 陈飞翔, 郭三学, 牛良超. 基于模糊层次分析法的警用非致命空气炮作战效能评估[J]. 装备环境工程, 2019, 16(5): 101-105.

(上接第 31 页)

[4] 孙露萍, 张文昌, 王志华, 等. 基于 2D 激光位移传感器的舱段自动对接测量方法[J]. 中国机械工程, 2023, 34(9): 1120-1125, 1133.

[5] 刘赛华, 晋严尊, 汤辉. 导弹舱段自动对接系统设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2022(2): 103-106.

[6] 张解语. 面向舱段对接的位姿自动化测量关键技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2020.

[7] 李世其, 陈栋, 王峻峰. 并联机构实现舱段对接的位姿

测量方法及试验研究[J]. 工程科学与技术, 2021, 53(3): 150-158.

[8] 高超. 导弹柔性装配系统关键技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.

[9] 马剑锋. 导弹数字化柔性对接系统设计及试验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.

[10] 王丙戌, 徐志刚, 王军义, 等. 导弹总装自动对接平台设计与研究[J]. 现代防御技术, 2016, 44(6): 135-141, 147.