

基于 IFE-GC 的防空反导一体化作战能力评估研究

郭蓬松, 李江, 李龙跃, 徐海龙

(空军工程大学防空反导学院, 西安, 710051)

摘要 分析了防空反导一体化作战力量关系和能力影响因素, 构建了一体化作战能力评估指标体系, 综合考虑专家对评估对象给定判断信息的不确定性, 运用直觉模糊熵确定评估指标权重和评估专家权重。利用三角白化权函数对各级指标进行灰色聚类评估, 确定一体化作战方案的评价等级, 并通过算例验证了评估方法的可行性和科学性, 评估结果可为防空反导一体化作战计划制订提供辅助决策支持。

关键词 防空反导一体化; 作战能力评估; 直觉模糊熵; 灰色聚类

DOI 10.3969/j.issn.2097-1915.2023.04.006

中图分类号 E917 **文献标志码** A **文章编号** 2097-1915(2023)04-0035-07

An Evaluation Method of Combat Capability for Air and Missile Defense Integration Based on IFE-GC

GUO Pengsong, LI Jiang, LI Longyue, XU Hailong

(Air and Missile Defense School, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract An evaluation level of the integrated combat scheme is determined on the basis of analyzing the relationship and capability influencing factors based on air and missile defense in integrated operation, constructing an index system for integrated operation capability, considering the uncertainty of experts' judgment information on evaluation objects comprehensively, applying intuitive fuzzy entropy to the index weights and expert weights, and utilizing triangular whitening function for evaluating grey clustering to indexes at different levels. The feasibility and scientism of the intuitive fuzzy entropy valuation method are verified by the example. The evaluation results can provide the auxiliary decision support for the integrated operation plan.

Key words air and missile defense integration; combat capability evaluation; intuitive fuzzy entropy; grey clustering

随着空袭飞机、弹道导弹、巡航导弹等传统攻击武器能力的不断提升, 以及新一代作战飞机、临近空间飞行器、智能无人化装备等新型空中进攻武器的发展和部署, 使得未来防空反导作战的战场环境更加复杂、作战空间更加广阔、对抗节奏更加快捷、敌

我博弈更加激烈, 作战对象的强隐身、高机动、饱和攻击、作战样式灵活多变等特性, 也使得防空反导体系作战中的“难发现、难跟踪、难识别、难抗击”等问题更加突出。为了有效应对空天威胁, 破解防空反导体系作战中的诸多难题, 多维空间协同预警跟踪、

收稿日期: 2023-02-28

基金项目: 国家自然科学基金(72071209)

作者简介: 郭蓬松(1979-), 男, 河南许昌人, 副教授, 博士, 研究方向为空天防御作战理论。E-mail: xupengss1978@163.com

引用格式: 郭蓬松, 李江, 李龙跃, 等. 基于 IFE-GC 的防空反导一体化作战能力评估研究[J]. 空军工程大学学报, 2023, 24(4): 35-41. GUO Pengsong, LI Jiang, LI Longyue, et al. An Evaluation Method of Combat Capability for Air and Missile Defense Integration Based on IFE-GC [J]. Journal of Air Force Engineering University, 2023, 24(4): 35-41.

多域多层协同拦截作战将是未来防空反导体系化作战的主要作战样式,防空反导一体化作战能力的准确评估是指挥人员能够未雨绸缪、精准指挥的重要依据,可以为指挥员智能化战前筹划和临机筹划提供辅助决策,如何科学准确又全面快速评估区域防空反导一体化作战能力成为亟待解决的关键问题。

1 一体化作战力量关系及能力影响因素分析

1.1 作战力量关系分析

未来的防空反导一体化作战行动,无论采取何种作战样式都应该是诸军兵种的联合作战,联合预

警、指挥控制、联合打击、联勤保障是实施联合作战的 4 个基本要素^[1],防空反导一体化作战就是通过系统集成方法,将陆、海、空、天、电、网等领域的防空反导力量有机铰链,各类防空反导力量不仅要组织兵种内部之间的协同,而且要组织本兵种与其他军兵种防空反导力量的协同,使得 4 个作战要素高度融合,发挥诸军兵种参战所有力量的整体威力。这就要求指挥员必须从作战全局出发,围绕联合作战的总任务,确定参战的各种防空反导力量作战任务及其协同关系,统一指挥防空反导作战全过程和各战场的作战行动,使得各参战力量能够聚优增能^[2],发挥一体化协同作战整体效能,体系内各作战力量关系如图 1 所示。

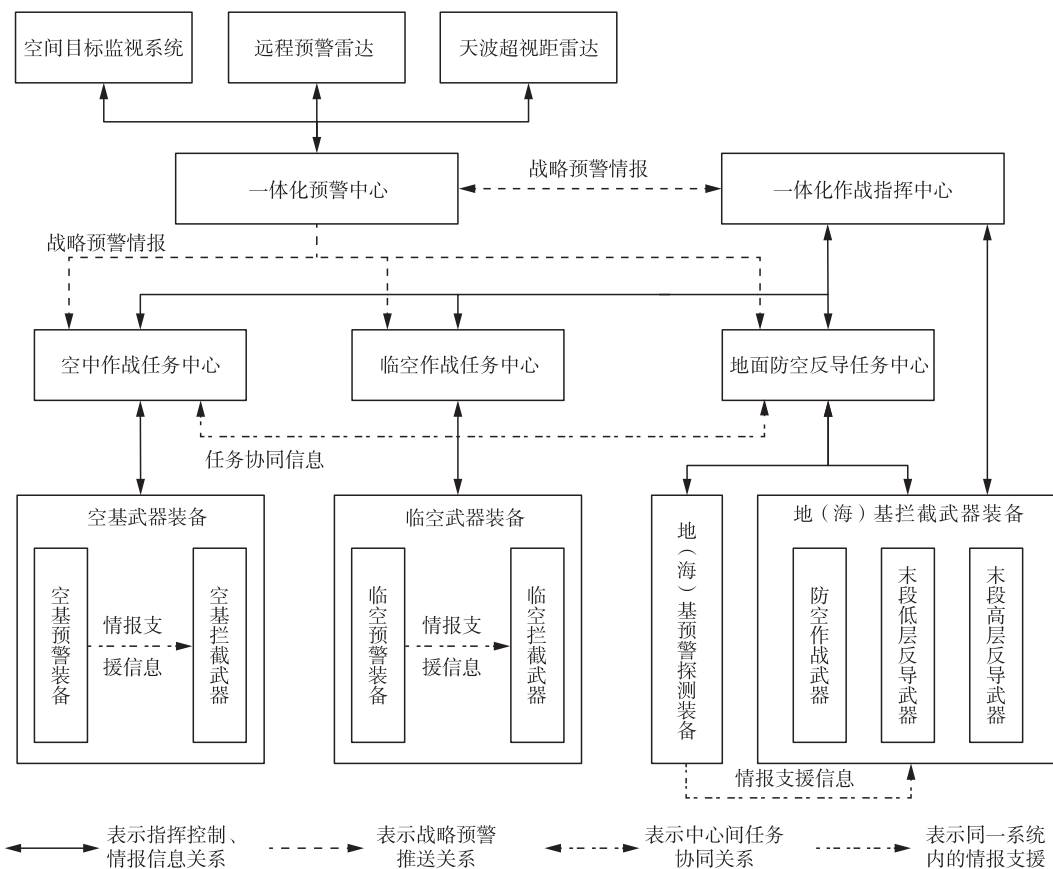


图 1 防空反导一体化作战力量关系图

通过一体化作战网络,各参战力量在一体化作战指挥中心的指挥下,尽早发现来袭的空天目标,运用一体化的多层多源预警跟踪系统,判定诸元信息,连续稳定跟踪飞行轨迹,并将各类参数送入中心的信息处理与显示设备,判断攻击意图,识别目标种类,判明来袭目的,形成体系预警信息,为火力单元协同打击来袭空天目标提供信息保障。当一体化作战指挥中心能够及时掌握全局战场态势时,可采用集中式指挥作战模式,统一负责协调参战力量的作战行动;当一体化作战指挥中心不能掌握战场态势变化信息或出现突发事件变化时,由各任务中心依

据战前制订的作战原则,进行自主协同作战,发挥各参战实体的自主决策优势。

1.2 一体化作战能力影响因素

在防空反导一体化作战中,通过不断消解作战过程中彼此之间在时域、空域和频域的矛盾冲突,实现“侦察、跟踪、识别、指控、打击、评估”的一体化作战能力,形成预警探测、全域指控、火力打击、信息对抗的作战行动闭环。从一体化作战任务和作战力量关系看,防空反导一体化作战能力影响因素主要表现在预警探测跟踪、指挥控制、信息协同作战、火力拦截打击和综合保障等 5 个方面。

1) 预警探测跟踪是防空反导一体化作战的基本前提,一体化作战需要体系利用预警探测系统首先发现、识别和掌握敌方空天威胁目标动态,为组织防空反导一体化作战发出警报和提供情报,为指挥员迅速、准确、全面地掌握敌情,实时地采取相应的对策和措施,指挥部队实施防空反导一体化作战行动提供决策依据。

2) 指挥控制是作战指挥机构对编成内部队及其参战诸军兵种作战力量进行的组织、协调、掌握和制约的活动^[3],旨在保证高效指挥、顺畅协同和有序行动。防空反导一体化指挥控制以一体化作战指挥任务为牵引,依托一体化指挥信息系统,对诸军兵种防空反导作战力量和作战行动实施运筹谋划和协调控制,将信息优势转化为决策和行动优势,是作战指挥能力的核心要素,直接影响防空反导一体化作战的整体能力。

3) 信息协同作战是指各种参战力量在遂行联合作战任务时,为确保一体化作战行动协调一致、同步展开、顺利实施,在信息采集、传输、处理、分发和应用等方面进行的协调配合。目的在于将各种作战力量、作战要素链接在一起,形成集全维感知、高效指控、精确打击、综合保障于一体的全维多层防空反导作战能力,作战效能能否实现“1+1>2”的效果很大程度上取决于体系内各作战单元与上级指挥机构及相互之间的信息协同^[4]。

4) 火力拦截打击是指在防空反导一体化作战框架下,依据防空反导作战任务需要,各防空反导力量应发挥各自装备能力和优点,最大限度地发挥参战力量的整体优势^[5],以实现作战效能的最大化而进行的作战行动,是防空反导一体化作战的核心环节,直接制约着防空反导一体化作战能力的发挥。

5) 综合保障是防空反导作战各参战力量之间,为满足作战需要,达成快速保障、精确保障、按需保障要求而进行的作战行动。信息化条件下的防空反导一体化作战使得综合保障对象分布多维、保障内容形式多样、保障力量融合多元和保障系统难测多毁等特点,只有实施精确高效的协同保障,才能为实施高效的防空反导一体化作战提供有力保证。

2 一体化作战能力评估指标体系

防空反导一体化作战能力评估是一个复杂的体系作战评估问题,体系作战能力通过组分系统间同域协同、跨域叠加等相互作用涌现产生,并且体系作战能力指标值呈现出非常大的模糊性和随机性^[6],所建立的指标体系既要能够反映所评估对象的复杂性,降低评估对象各指标间的关联和制约关系,又要能体现指标之间的层次性和条理性^[7]。因此,可构建防空反导一体化作战能力评估指标体系,如图 2 所示。

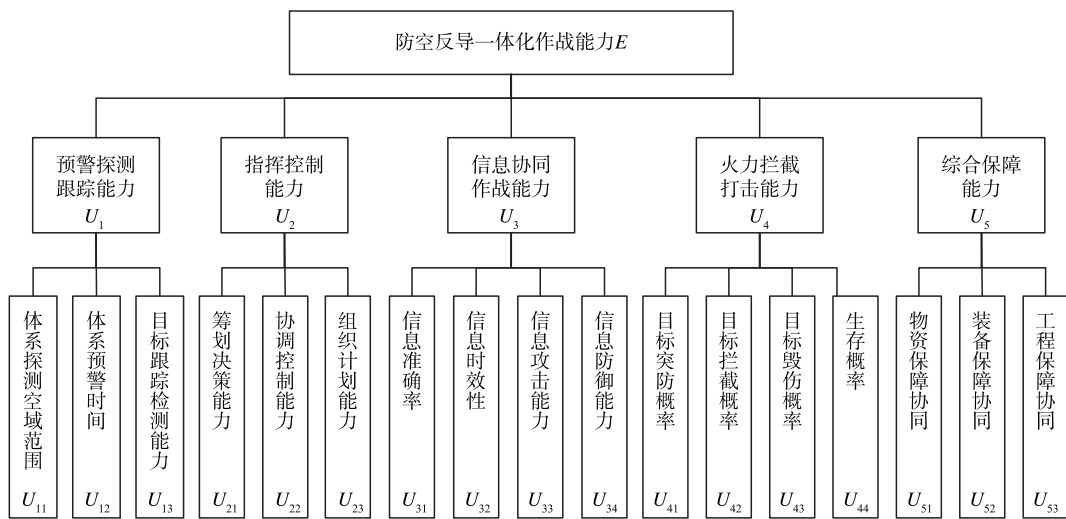


图 2 防空反导一体化作战能力评估指标体系

2.1 预警探测跟踪能力

预警探测跟踪可为抗击敌方进袭提供相应的预警信息、目标情报和反应时间^[8],为指挥控制和拦截打击提供足够的战斗准备时间,为有效跟踪、拦截目标提供情报保障,提高反空天目标的一体化作战能力。预警探测跟踪能力主要体现在体系探测空域范围与精度、体系预警时间、目标检测跟踪能力等方面。

2.2 指挥控制能力

各防空反导作战力量指挥组织协作的好坏,直接关系到指挥效能的生成与发挥,各级指挥机关必须在筹划决策、协调控制和组织计划等方面实施高效决策^[9],确保指挥顺畅和协同动作一致,从而实施精确、高效的指挥。因此,指挥控制能力必须在筹划决策、协调控制和组织计划方面下功夫。

2.3 信息协同作战能力

高效的信息协同是实现各防空反导力量融入一体化作战体系的重要保证,对信息的准确性、时效性和连续性等需求具有严格的限制,要求参战各力量必须在信息获取、信息运用和电子对抗等方面实现无缝拼接。因此,可选择信息准确率、信息时效性、信息攻击和信息防御等能力作为评估指标。信息攻击能力主要考虑对敌信息系统实施软攻击,切断或摧毁敌信息获取和传输的能力;信息防御能力主要针对敌信息攻击、信息干扰、信息入侵等作战行动,己方保障一体化作战信息获取与传输、排除干扰与影响、作战告警与恢复的能力。

2.4 火力拦截打击能力

防空反导一体化作战中,参战力量众多,参战诸军兵种应根据作战任务和作战目标,统筹协调作战任务、兵力部署、射击区域和火力运用,采取集火射击、分火射击、接替射击等协同方式,确保对目标的有效拦截。因此,选择目标突防概率、目标拦截概率、目标毁伤概率和生存能力等能力作为评估指标。

2.5 综合保障能力

综合保障能力主要表现在物资保障、装备保障和工程保障等方面。物资保障要求各作战力量在保障本部队物资的同时,可以跨区就近进行协同保障,确保快速形成防空反导作战能力。装备保障要求借助不同军兵种装备维修保障体制,实施通用型装备的支援、维修和保障任务,解决保障能力差异化问题。工程保障要在阵地建设、阵地伪装、道路交通保障等方面进行通力协作,以满足一体化作战需求。

3 基于 IFE-GC 的能力评估模型

图2评估指标体系中的能力指标既包含有定性指标,又包含定量指标,部分指标可由专家对协同计划方案及执行情况进行综合评定,比如协调控制能力、物资保障能力等,部分指标需要专家依据数据计算结果进行评定。因此,评估结果受专家自身能力影响较大,本文采用直觉模糊熵^[10](intuitionistic fuzzy entropy, IFE)与灰色聚类^[11-12](grey clustering, GC)相结合的方法进行能力评估,以减少专家评判因素的影响,提高评估结果可信度。

3.1 建立直觉模糊集决策矩阵

设有 m 个评估专家 $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$, 有 n 个评估指标 $\{U_1, U_2, \dots, U_n\}$, 第 i 个评估专家关于第 j 个指标的直觉模糊评估值为 (u_{ij}, v_{ij}) , 其中, u_{ij} 和 v_{ij} 分别表示评估专家对评估指标的满意度和不满意度, $\pi_{ij} = 1 - (\mu_{ij} + \nu_{ij})$ 为直觉模糊指标。则专家

$P_k (k = 1, 2, \dots, m)$ 对所有评估指标的直觉模糊集决策矩阵为:

$$R = \left\{ \begin{array}{cccc} (u_{11}, v_{11}) & (u_{12}, v_{12}) & \cdots & (u_{1m}, v_{1m}) \\ (u_{21}, v_{21}) & (u_{22}, v_{22}) & \cdots & (u_{2m}, v_{2m}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ (u_{n1}, v_{n1}) & (u_{n2}, v_{n2}) & \cdots & (u_{nm}, v_{nm}) \end{array} \right\} \quad (1)$$

3.2 直觉模糊熵确定指标及专家权重

指标权重用于度量单项指标对总目标实现的贡献程度,反映了指标在指标体系中的相对重要程度^[13]。评估指标权重的科学性直接关系到整个评估体系的实用性和有效性^[14],防空反导一体化作战能力指标中,一部分能力指标可以从仿真模拟训练或者演习演练数据中获得评估值,一部分能力指标只能依靠专家对方案实施过程的经验给出评估值,为了兼顾数据的客观性和专家偏好的主观性^[15],所有指标权重均可利用直觉模糊熵来确定。

3.2.1 确定评估指标权重

由直觉模糊熵的定义可知,评估指标提供的判断信息模糊度越大,评估信息的有效性越低,则赋予的指标权重越小,反之,赋予的指标权重越大,直觉模糊熵的模糊程度需要考虑支持、反对和犹豫。构造一种差值平方根直觉模糊熵如下:

$$E_{ij} = \cos \frac{\sqrt{|\mu_{ij} - \nu_{ij}| (1 - \pi_{ij})}}{2} \pi \quad (2)$$

按照熵大权小原则确定权重的方法,可计算三级评估指标的综合权重为:

$$\omega_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)} \quad (3)$$

式中: $E_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m E_{ij}$ 为所有专家对指标 j 的评估直觉模糊熵。

3.2.2 确定评估专家权重

评估专家对评估指标给定判断信息的可靠性和确定性程度有关,判断信息模糊性和不确定性越大,专家对评估指标的了解程度越小,应赋予的权重也越小。决策矩阵的直觉模糊熵描述了判断信息的模糊性和不确定性,结合熵权法,确定评估专家权重为:

$$\theta_k = \frac{1 - E_i}{\sum_{i=1}^m (1 - E_i)} \quad (4)$$

式中: $E_i = \sum_{j=1}^n \omega_j E_{ij}$ 为第 i 个专家对所有指标的加权直觉模糊熵,表示给出评估信息的模糊程度。

3.3 基于灰色聚类的综合能力评估

防空反导一体化作战能力影响因素众多,关系

复杂,许多指标带有很大的灰色性,灰色白化权函数聚类是运用灰数的白化权函数将观测对象聚集成若干类别的方法^[16],可以很好地解决防空反导一体化作战中系统结构复杂、有效信息缺乏和不确定性高的系统评估问题。

3.3.1 数据预处理

防空反导一体化作战的指标呈现出一定的模糊性、交叉性、非线性等特点^[17],指标所代表的意义和量纲也不相同,部分指标信息可能还不完全,根据评估需要,评估专家组需要对不同来源的评估数据进行过滤、分组、归并、属性变换以及数据统计计算,从而获得供评估算法使用的数据。

3.3.2 划分评价灰类及指标灰类取值

依据预处理后的数据特征,将评估对象划分为 s 个评价灰类,分别表示指标对应的 s 个评价等级,评价分数的取值范围在 $[\lambda_0, \lambda_{s+1}]$ 之间,将区间划分为 $s+1$ 个小区间,根据评估需要,确定各小区间分割点的取值 $\lambda_k (k=1, 2, \dots, s)$, λ_k 称为该灰类的中心点。这样,就可以建立指标与灰类关联的白化权函数为:

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [\lambda_{k-1}, \lambda_{k+1}] \\ \frac{x - \lambda_{k-1}}{\lambda_k - \lambda_{k-1}}, & x \in [\lambda_{k-1}, \lambda_k] \\ \frac{\lambda_{k+1} - x}{\lambda_{k+1} - \lambda_k}, & x \in [\lambda_k, \lambda_{k+1}] \end{cases} \quad (5)$$

根据指标 $j (j=1, 2, \dots, n)$ 的量化值,可由式

(5)计算出属于灰类 $k (k=1, 2, \dots, s)$ 的隶属度值 $f_j^k(x)$ 。

3.3.3 计算综合聚类系数

运用式(6)计算对象 $i (i=1, 2, \dots, m)$ 关于灰类 k 的综合聚类系数,由最大关联系数择优法选取 $\sigma_i^{k*} = \max_{1 \leq k \leq s} \{\sigma_i^k\}$ 对应的灰类 k^* 作为最优选择。当确定的灰类 k^* 有多个取值时,可以进一步根据综合聚类系数的大小确定同属于 k^* 灰类的各对象的优劣^[18],由此作出综合的合理判断。

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^n f_j^k(x_{ij}) \omega_j \quad (6)$$

4 算例分析

某次防空反导一体化演练,红方针对蓝方的空天一体打击活动,制订了 1 套防空反导一体化作战计划方案,并利用模拟训练系统进行了模拟对抗演练,得到相关演练数据,现对该作战计划方案进行能力评估,确定方案优劣。模拟对抗演练数据具体分析和计算过程如下。

4.1 数据预处理

将红方制订的作战计划方案和模拟对抗演练数据作为能力评估的依据,聘请 6 名相关领域专家按照评估指标体系各自独立评判,对于评估指标体系中的所有指标,都属于效益型指标,经标准化处理得到评价结果见表 1。

表 1 专家对计划方案的评价信息

指标	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6
U_{11}	(0.92,0.06)	(0.88,0.08)	(0.86,0.12)	(0.90,0.06)	(0.85,0.12)	(0.82,0.15)
U_{12}	(0.86,0.12)	(0.95,0.04)	(0.85,0.10)	(0.89,0.10)	(0.91,0.06)	(0.70,0.22)
U_{13}	(0.75,0.22)	(0.66,0.30)	(0.70,0.25)	(0.80,0.15)	(0.75,0.24)	(0.65,0.33)
U_{21}	(0.91,0.04)	(0.82,0.12)	(0.92,0.05)	(0.95,0.04)	(0.85,0.12)	(0.88,0.11)
U_{22}	(0.85,0.14)	(0.85,0.12)	(0.90,0.08)	(0.88,0.11)	(0.95,0.02)	(0.85,0.12)
U_{23}	(0.84,0.14)	(0.85,0.12)	(0.90,0.08)	(0.88,0.10)	(0.92,0.04)	(0.83,0.15)
U_{31}	(0.92,0.07)	(0.95,0.03)	(0.96,0.03)	(0.90,0.08)	(0.92,0.08)	(0.92,0.06)
U_{32}	(0.87,0.12)	(0.86,0.12)	(0.90,0.07)	(0.85,0.12)	(0.90,0.06)	(0.88,0.11)
U_{33}	(0.86,0.10)	(0.92,0.07)	(0.85,0.13)	(0.80,0.20)	(0.86,0.12)	(0.86,0.14)
U_{34}	(0.75,0.25)	(0.85,0.14)	(0.65,0.35)	(0.70,0.28)	(0.86,0.13)	(0.70,0.29)
U_{41}	(0.85,0.12)	(0.88,0.10)	(0.86,0.12)	(0.82,0.12)	(0.80,0.16)	(0.85,0.13)
U_{42}	(0.82,0.13)	(0.81,0.13)	(0.78,0.20)	(0.82,0.12)	(0.72,0.16)	(0.83,0.14)
U_{43}	(0.95,0.02)	(0.88,0.10)	(0.90,0.02)	(0.86,0.13)	(0.85,0.12)	(0.87,0.10)
U_{44}	(0.81,0.14)	(0.78,0.20)	(0.75,0.21)	(0.82,0.15)	(0.75,0.21)	(0.73,0.23)
U_{51}	(0.85,0.12)	(0.68,0.30)	(0.78,0.20)	(0.82,0.12)	(0.72,0.16)	(0.75,0.23)
U_{52}	(0.55,0.43)	(0.64,0.36)	(0.70,0.28)	(0.65,0.33)	(0.70,0.26)	(0.65,0.35)
U_{53}	(0.48,0.50)	(0.76,0.22)	(0.58,0.41)	(0.55,0.46)	(0.70,0.28)	(0.65,0.34)

4.2 指标和专家权重计算

依据表 1 的评价信息,根据式(2)~式(4),可计

算得到各评估指标的权重及评估专家的权重,如表

2 所示。

表 2 评估指标权重及专家权重

1 级指标	E									
2 级指标	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5					
权重	0.178 9	0.204 6	0.257 0	0.246 1	0.113 5					
3 级指标	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{21}	U_{22}	U_{23}	U_{31}	U_{32}	U_{33}	U_{34}
权重	0.376 4	0.366 6	0.257 0	0.338 3	0.333 2	0.328 5	0.286 4	0.264 4	0.255 6	0.193 7
综合权重	0.067 3	0.065 6	0.046 0	0.069 2	0.068 2	0.067 2	0.073 6	0.067 9	0.065 7	0.049 8
3 级指标	U_{41}	U_{42}	U_{43}	U_{44}	U_{51}	U_{52}	U_{53}			
权重	0.260 2	0.237 6	0.279 8	0.222 4	0.472 4	0.290 9	0.236 7			
综合权重	0.064 0	0.058 5	0.068 9	0.054 7	0.053 6	0.033 0	0.026 9			
专家	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6				
权重	0.175 7	0.169 5	0.118 0	0.182 7	0.178 8	0.175 3				

4.3 综合评价与分析

4.3.1 确定评估指标灰类

表 1 中给出了经过标准化处理的量化评价信息,依据预处理后的数据特征,将评估对象划分为 5 个评价灰类,分别表示“优秀”“良好”“中等”“一般”“差”5 个评价等级,评价分数的取值范围在 $[0,1]$ 之间,0 为最低分,1 为最高分。结合专家的意见,得到小区间分割点 $\lambda_k (k=1,2,\dots,5)$ 的取值分别为 $\lambda_1=0.4, \lambda_2=0.6, \lambda_3=0.7, \lambda_4=0.8, \lambda_5=0.9$ 。依据计算出的专家权重和表 1 中模糊决策矩阵的 u_{ij} ,可以计算出每项三级指标的加权指标值,再根据建立的白化权函数,可以计算出各指标的白化权函数值,具体数值见表 3。

表 3 各指标的白化权函数值

指标	差	一般	中等	良好	优秀
U_{11}	0	0	0	0.275 6	0.724 4
U_{12}	0	0	0	0.395 4	0.604 6
U_{13}	0	0	0.795 5	0.204 5	0
U_{21}	0	0	0	0.127 6	0.872 4
U_{22}	0	0	0	0.207 4	0.792 6
U_{23}	0	0	0	0.313 7	0.686 3
U_{31}	0	0	0	0	0.738 5
U_{32}	0	0	0	0.246 9	0.753 1
U_{33}	0	0	0	0.419 7	0.580 3
U_{34}	0	0	0.430 8	0.569 2	0
U_{41}	0	0	0	0.581 5	0.418 5
U_{42}	0	0	0.025 4	0.974 6	0
U_{43}	0	0	0	0.161 1	0.838 9
U_{44}	0	0	0.250 9	0.749 1	0
U_{51}	0	0	0.333 3	0.666 7	0
U_{52}	0	0.544 3	0.455 7	0	0
U_{53}	0	0.788 2	0.211 8	0	0

4.3.2 确定综合聚类系数

根据表 2 中直觉模糊熵计算出的指标权重和表

3 中计算出的指标白化权函数值,利用式(6)可计算出能力评估指标的综合聚类系数,见表 4。

表 4 综合聚类系数

指标	一般	中等	良好	优秀	最优
U_1	0	0.204 5	0.301 2	0.494 3	0.494 3
U_2	0	0	0.215 3	0.784 7	0.784 7
U_3	0	0.083 4	0.282 8	0.558 9	0.558 9
U_4	0	0.061 8	0.594 5	0.343 7	0.594 5
U_5	0.344 9	0.340 1	0.314 9	0	0.344 9
E	0.039 2	0.111 8	0.352 6	0.477 1	0.477 1

由表 4 的运算结果,根据 $\sigma_i^{k*} = \max_{1 \leq k \leq s} \{\sigma_i^k\}$ 选取准则,可以得到防空反导一体化作战能力属于“优秀”灰类。从另一个方面可以看出,二级指标的灰色分别处于“优秀”“优秀”“优秀”“良好”“一般”的等级,“火力拦截打击能力”和“综合保障能力”评价等级相对较低,尤其是综合保障能力处于“一般”等级,从表 1 中的评价信息也可以看出专家对于综合保障能力并不满意,打分普遍较低,指挥员应根据专家意见,结合灰色系统查找出问题薄弱环节,通过改进一体化作战指挥方式、火力拦截打击手段、综合保障方式等方法来完善作战计划方案,从而提升整体作战能力。

5 结语

本文建立了防空反导一体化作战能力评估指标体系,综合考虑专家对评估对象给定判断信息的不确定性,兼顾数据的客观性和专家偏好的主观性,运用直觉模糊熵理论确定评估指标权重和评估专家权重,评估结果更具有可靠性;利用三角白化权函数对评估指标体系中的指标进行聚类,得到作战计划方案的评价等级,并提出了寻找改进方案的方法。下

一步拟进一步细化完善评估模型,实现评估模型软件化,解决一体化作战能力的快速评估问题。

参考文献

- [1] 苗德成,路建伟,刘新盛.一体化联合防空作战指挥决策支持系统探析[J].国防技术基础,2005(8):46-48.
- [2] LI L Y, LIU F X, LONG G Z, et al. Modified Particle Swarm Optimization for BMDS Interceptor Resource Planning[J]. Applied Intelligence, 2016, 44(3): 471-488.
- [3] 冯军星,朱春光,王健超.基于改进FCE法的作战指挥控制能力评估[J].舰船电子工程,2022(9):25-28.
- [4] 李勇祥,曹泽阳,李龙跃.基于云模型的地面防空混编群信息对抗能力评估模型[J].兵器装备工程学报,2021,42(3):88-92.
- [5] LI L Y, LIU F X, LONG G Z, et al. Performance Analysis and Optimal Allocation of Layered Defense M/M/N Queueing Systems[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2016,(5):1-21.
- [6] 季明.全域作战能力评估相关问题研究[J].军事运筹与系统工程,2019,32(1):15-19.
- [7] 胡晓峰,杨靖宇,张明智.战争复杂体系能力分析与评估研究[M].北京:科学出版社,2019.
- [8] ZHAN G Y, MU H L,JIANG Y, et al. Moving Target Tracking Based on Improved GMPHD Filterin Circular SAR System[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2019, 16(4):559-563.
- [9] 张先剑,徐昕.防空反导机理分析及筹划决策[J].国防科技,2022(1):7-14.
- [10] XU J, MA Z, XU Z. Novel Intuitionistic Fuzzy Weighted Geometric Operators for Intuitionistic Fuzzy Multi-Attribute Decision Making[J]. Journal of Industrial and Management Optimization, 2023 (19): 7196-7220.
- [11] TIAN W X, LI Z Y, LIU W, et al. Grey Clustering Evaluation on Regional Eco-environmental Quality Based on Normalized Index Value[J]. Meteorological and Environmental Research, 2011, 2(4):65-67.
- [12] WANG T H, LI X L, LI B J. An Improvement of Grey Integrated Clustering Method[J]. Open Journal of Applied Sciences, 2017, 7(10):140-146.
- [13] 张宪,许瑞明.基于组合赋权法的联合作战协同效能评估指标[J].火力与指挥控制,2017,42(7):56-60.
- [14] 韩琦,李为民,潘帅.基于多维战场空间理论的联合防空反导作战效能评估[J].航空兵器,2021,28(5):17-23.
- [15] 孙歌,刘俊,赵斌.基于模糊熵权的黑启动方案评估方法[J].上海电力大学学报,2020,26(5):466-470.
- [16] 陈德江,王君,赵崇丞.雷达组网作战效能的灰色聚类评估模型[J].火力与指挥控制,2019,44(5):26-30.
- [17] 陈希,杨兵,孙志豪.基于灰色聚类的信息作战指挥协同效能评估[J].火力与指挥控制,2020,45(4):71-82.
- [18] 王金昌,张永辉,黄彬.要地防空指挥控制系统作战效能灰色聚类评估[J].现代防御技术,2013,41(4):61-67.

(编辑:刘勇)