

基于主客观综合赋权的防空反导指控系统敏捷性评价

林 驰, 李 松

(空军工程大学防空反导学院, 西安, 710051)

摘要 在对防空反导指挥控制系统敏捷性认识的基础上,通过深入分析,建立相应的评价指标体系。针对目前采用 AHP 等单类方法进行指标赋权存在的不足,提出基于 AHP 和 RAGA-PPC 的防空反导指挥控制系统敏捷性模糊综合评价模型,首先进行指标量化处理,然后综合 AHP 和 RAGA-PPC 2 种方法进行指标权重确定,并通过模糊综合评价得到敏捷性评价结果。该评价模型采用主客观综合赋权方法,使评价既能反映决策者意志,又可避免评价结果的主观随意性。最后通过实例分析验证该评价模型的有效性,并基于评价结果的分析提出相关指导性建议。

关键词 防空反导指控系统;敏捷性;AHP;RAGA-PPC

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2018.04.006

中图分类号 V37; E951.4 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2018)04-0031-07

Agility Evaluation of Air-Defense & Anti-Missile Command System Based on Subjective & Objective Comprehensive Index Weighting

LIN Chi, LI Song

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

Abstract: On the basis of the agility evaluation of air-defense and anti-missile command system through deeply analyzing, this paper establishes a corresponding evaluation index system. Aimed at the problem that at present the index weighting exists in some shortcomings by adopting AHP and other single-class methods, an agile fuzzy comprehensive evaluation method based on AHP and RAGA-PPC is proposed. Firstly, the indexes are quantified, then the weights of the indicators are determined by using AHP and RAGA-PPC, and the results of the agility evaluation are obtained by fuzzy comprehensive evaluation. The evaluation model adopts the subjective and objective comprehensive weighting method, reflecting the will of decision-makers, and avoiding the subjective evaluation of arbitrariness. Finally, the evaluation model is verified, and the relevant guidance suggestions are put forward.

Key words: air-defense and anti-missile command system; agility; AHP; RAGA-PPC

“敏捷性”是美国国防部指挥控制研究计划负责人 Albert 博士继“网络中心战”后提出的又一创新性军事理念^[1],他在文献[2~3]中定义敏捷性为“成

功影响、应对和利用各种战场情况变化的能力”,并指出 C2(Command&Control, C2)系统的敏捷性是应对未知威胁和战场环境多样性的关键。复杂多变

收稿日期: 2017-12-04

基金项目: 国家自然科学基金(61703412);中国博士后科学基金(2016M602996)

作者简介: 林 驰(1993—),男,广东潮安人,硕士生,主要从事指控模型验证评估研究. E-mail:fkfd2016@163.com

引用格式: 林驰,李松. 基于主客观综合赋权的防空反导指控系统敏捷性评价[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2018, 19(4): 31-37.
LIN Chi, LI Song. Agility Evaluation of Air-Defense & Anti-Missile Command System Based on Subjective & Objective Comprehensive Index Weighting[J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2018, 19(4): 31-37.

的战场环境对防空反导指控系统提出更高的要求:一方面需要具备预测变化的能力,另一方面需要实现资源的有效整合。因此,构建科学合理的防空反导指控系统敏捷性模型是亟待解决的问题。评价指标是评定评价系统优劣的关键,而指标的重要程度不同,进行评价之前需要确定各指标的相对权重。庄万玉等在文献[4]中针对敏捷性评价指标权重的确定进行研究探讨,提出主客观综合赋权的方法。本文从防空反导指控系统的敏捷性评价研究入手,在分析指控系统作战需求和敏捷性评价特点的基础上构建评价指标体系,并将 AHP 和 RAGA-PPC 综合进行指标赋权。

1 防空反导指控系统敏捷性分析

不同的系统对敏捷性的定义是不一样的^[5-6]。因此先从作战指挥体系、作战指挥流程上对防空反导指控系统进行研究,再结合敏捷性的 6 个组成要素分析其敏捷性并建立评价指标体系。

防空反导指控系统作为支撑防空反导体系集成的核心装备,是开展一体化作战的关键节点。多级指控系统形成的作战指挥体系保证各类作战资源可以根据战时的目标类型,战场环境及使用战术等因素随时组成具有隶属关系的一体化作战体系^[7],具体见图 1。

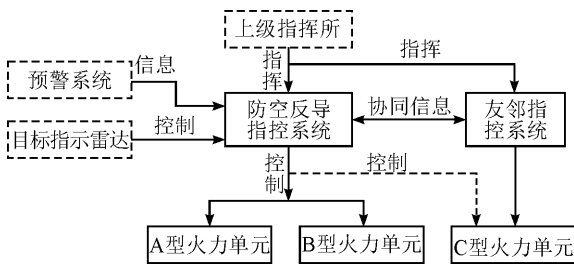


图 1 作战指挥体系

Fig. 1 The operational command system

其作战指挥流程是各级指控系统根据预警探测系统获得的目标数据,进行一系列的指挥、控制和决策,并组织拦截武器系统实施有效拦截作战^[8]。

Albert 博士曾指出敏捷的 C2 系统应该具有 6 个与其能力相关的组成要素,并认为在现实情况下,通过观察这些组成要素在实体中的行为,采用相关标准度量这些要素的出现程度,能够明确成功结果和这些要素之间存在的因果关系^[9-10]。基于以上分析,防空反导指控系统敏捷性可以以响应性、多用

性、多变性、恢复性、创新性和适应性 6 个组成要素^[1]为准则,从系统的通信保障能力,信息处理能力,作战指挥与武器控制能力及系统生存能力 4 个方面进行分析和评价指标化。

以响应性为例,不同级别和不同领域的系统最佳响应时间一般不同,且快速但错误的动作并不具有响应性,因此,衡量防空反导指控系统是否具有响应性的指标可以是预警时效性及决策时效性^[11],结合另外 5 个组成要素逐一进行分析,可得到防空反导指控系统敏捷性评价指标体系见图 2。

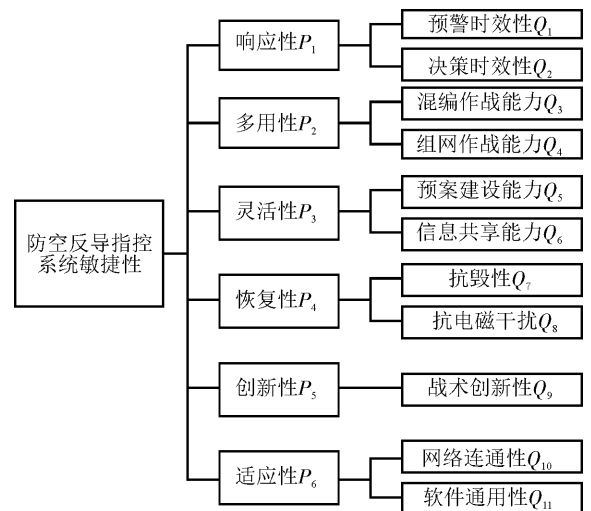


图 2 敏捷性评价指标体系

Fig. 2 The agility evaluation index system

2 防空反导指控系统敏捷性评价模型

本文评价模型采用主客观综合赋权的方法,与目前的主观赋权法和灰色系统评价法相比,一定程度上解决因专家自身经验知识造成的过多人为性影响的问题。由于基于熵的客观赋权法在应用中容易出现评价指标平均化的问题,因此在客观赋权上采用 RAGA-PPC 方法,通过降低多维数据(多评价指标)的维数来寻求最佳投影方向,解决“维数祸根”问题,同时排除与数据结构和特征无关的变量的干扰,具体的评价模型见图 3。

2.1 指标量化及模糊评价矩阵的确定

防空反导指控系统敏捷性评价指标大多数为定性指标且具有模糊性,进行评价时需要进行指标量化处理。为确保评价的客观公正,考虑到指控系统作为人机交互系统及系统的优劣好坏取决于指挥人员的使用效果。因此,邀请 10 位来自指控系统的专家以及部队指挥员,对敏捷性评价指标统一进行 1~

9 数字标度^[12]来达到指标量化的目的,具体见表 1。

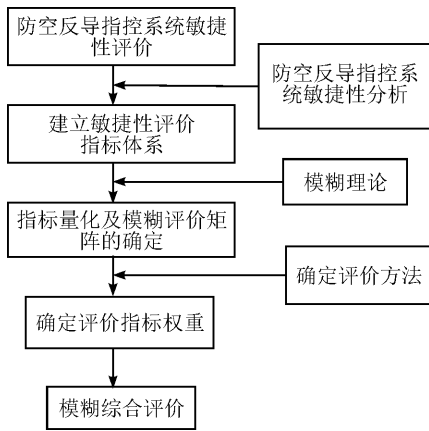


图 3 敏捷性评价模型构建

Fig. 3 The structure of agility evaluation model

表 1 1~9 等级标度表

Tab. 1 The 1~9 grade scale table

等级标度	敏捷性	性能	力度	速度
A(9)	最敏捷	最好	最大	最快
B(8)	很敏捷	很好	很大	很快
C(7)	敏捷	好	大	快
D(6)	较敏捷	较好	较大	较快
E(5)	一般	一般	一般	一般
F(4)	较差	较差	较小	较慢
G(3)	差	差	小	慢
H(2)	很差	很差	很小	很慢
I(1)	最差	最差	最小	最慢

假设与被评价对象相关的指标有 n 个,记作 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$,称为因素集,又设所有可能出现的评语有 m 个,记作 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$,称为评语集,然后依据指标量化原则确定因素集 U 模糊评价矩阵 R 。首先确定因素 u_i 对评语 v_j 的单因素评价价值 r_{ij} ,在进行隶属度评判时, c_{ij} 表示第 i 项指标获得第 j 种评估的票数乘以指标量化隶属度对应的等级标度值,即:

$$r_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sum_{k=1}^m c_{ik}} \quad (1)$$

式中: r_{ij} 指的是因素 u_i 具有评语 v_j 的程度,再把 i 个单因素评价集按行进行合成,得到因素集 U 的模糊评价矩阵为:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix} \quad (2)$$

2.2 指标权重确定

2.2.1 主观权重确定

主观权重的确定采用基于 AHP 的指标权重确

定方法,其将复杂的问题分解成递阶的若干个层次,一般取目标层、主准则层、次准则层,通过两两比较的方式,确定层与层之间的权重关系,具体步骤如下:

步骤 1 建立层次结构模型,具体见图 2。

步骤 2 构造判断矩阵 A ,通过对次准则层评价指标的影响程度作比较,确定每个元素在该层中相对于其他元素对上层某一准则的重要性。假设主准则层中的某个指标与下一层次的 n 个元素有关,从而得到一个判断矩阵:

$$A = (a_{ij})_n = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中: $a_{ij} > 0$,表示第 i 个元素相对第 j 个元素对主准则层相关的指标的重要程度,判断矩阵中各元素标度值的选取采用 Saaty 的 1~9 标度法^[13]。

步骤 3 求解判断矩阵的初始权重向量以及最大特征值,具体如下:

1)将矩阵 A 的每一列归一化得到矩阵 B ,其中:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4)$$

2)计算指标初始权重,令 $B = [B_1, B_2, \dots, B_n]$,其中 $B_i = [b_{1i}, b_{2i}, \dots, b_{ni}]^T$,即指标初始权重向量为:

$$W_s = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^T = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{\sum_{i,j=1}^n b_{ij}} \quad (5)$$

3)计算判断矩阵 A 的最大特征值 λ_{\max} :

$$AW_s = [c_1, c_2, \dots, c_n]^T = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \vdots \\ \omega_n \end{pmatrix} \quad (6)$$

则最大特征值为 $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{n\omega_i}$ 。

步骤 4 通过检验判断矩阵的一致性,保证初始权重向量合理性^[14]。

步骤 5 总排序权向量 q 计算,假设主准则层 P 具有 m 个指标 P_1, P_2, \dots, P_m ,根据次准则层对主准则层权向量的计算方法可得主准则层对目标层的权向量 $p = [p_1, p_2, \dots, p_m]$,与 P_j 对应的次准则层 Q 共有 n 个元素 Q_1, Q_2, \dots, Q_n ,由层次单排序权向量计算可得相对于 P_j 的单排序向量为 $(d_{1j}, d_{2j}, \dots, d_{nj})$,当次准则层元素 Q_i 与上层元素 P_j 无关时, $d_{ij} = 0$ 。最后,根据次准则层对主准则层的权重及主准则层对目标层的权重确定次准则层对目标层的权向量,即主观权重。

2.2.2 客观权重确定

客观权重的确定采用加速遗传算法-投影寻踪模型(RAGA-PPC),具体步骤如下:

步骤1 建立初始评价矩阵,假设有 m 个型号的防空反导指控系统,根据数据信息分析由领域专家评定给出 n 个指标数据,构成 $\mathbf{X} = \{x_{ij}\}_{m \times n}$,其中, x_{ij} 表示第 i 个指控系统的第 j 个评价指标,由于原始数据不能统一度量,需消除数据的量纲。

对越大越优型指标采用式(7):

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} x_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} x_{ij}} \quad (7)$$

对越小越优型指标采用式(8):

$$y_{ij} = \frac{\max_{1 \leq i \leq m} x_{ij} - x_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} x_{ij}} \quad (8)$$

经变换后得到标准化判断矩阵:

$$\mathbf{Y} = \{y_{ij}\}_{m \times n} \quad (9)$$

步骤2 定义投影指标函数,根据 RAGA-PPC 原理,将 n 维数据 $\{y_{ij} | j = 1, 2, 3, \dots, n\}$ 进行降维处理,得到 $\{a_j | j = 1, 2, 3, \dots, n\}$,即令:

$$Z_i = \sum_{j=1}^n a_j y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

为保证小范围投影点的聚集以及整体上可以获取相对散开的投影点团,决定采用 Friedman-Tukey 投影指标函数,即投影指标函数^[15]为:

$$Q(a) = S(a)D(a) \quad (11)$$

式中: $S(a)$ 为数据扩展的度量,用标准差表示; $D(a)$ 为局部密度; a 为投影方向,具体如下:

$$S(a) = \left[\frac{\sum_{i=1}^m (Z_i - E_z)^2}{m-1} \right]^{1/2} \quad (12)$$

$$D(a) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (R - r_{ij}) u(R - r_{ij}) \quad (13)$$

式中: $E_z = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_i$; R 为局部宽度参数,可取

$$0.1S(a); r_{ij} = |Z_i - Z_j|; u(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

步骤3 求最佳投影方向,采用加速遗传算法的基本原理来求解最优化问题,从而获取最佳投影方向,约束条件为对投影方向 a_j 的限制。因此,优化问题^[16]如下:

$$\begin{aligned} \max Q(a) &= S(a)D(a) \\ \text{s. t. } &\sum_{j=1}^n a_j^2 = 1 \end{aligned} \quad (14)$$

由上面分析可知,该优化问题属于非线性优化

问题,可以利用 MATLAB 编写加速遗传算法程序,对高维数据进行降维处理,经过迭代处理,获取最佳投影方向 $\{a_j, j = 1, 2, \dots, n\}$ 。在评价过程中,最佳投影方向即各指标对总体的贡献大小。由于其是单位投影方向向量,满足平方和为 1,故可得各指标的权重为 $\omega = (a_1^2, a_2^2, \dots, a_n^2)$ 。

2.2.3 综合权重确定

综合权重的确定主要采用加法集成法,由主客观赋权法得到的综合权重向量表示为:

$$\mathbf{w} = \alpha \mathbf{q} + \beta \boldsymbol{\omega} \quad (15)$$

式中: α, β 为主客观赋权法联系的待定系数,关于 α, β 的确定,主要采用差异系数法,计算如下:

$$\alpha = \frac{n}{n-1} T, \beta = 1 - \alpha \quad (16)$$

式中: T 为主观权重 q 的各分量的差异系数,有:

$$T = \frac{2}{n} (1q_1 + 2q_2 + \dots + nq_n) - \frac{n+1}{n} \quad (17)$$

式中: q_1, q_2, \dots, q_n 是主观权重向量中各分量从小到大的重新排列。

2.3 模糊综合评价

文献[13]指出模糊综合评价主要考虑与被评价对象相关的各个指标,利用模糊线性变换原理和最大隶属度原则量化指标,再进行综合评价,实现评价对象的定量分析和定性分析的模糊变换,具体步骤如下:

步骤1 根据指标体系确定因素集 $\mathbf{U} = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 。

步骤2 对因素集 $\mathbf{U} = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 进行一级模糊综合评价,依据指标量化原则,由前面的公式(1)和(2)可获得模糊综合评价矩阵,而 \mathbf{U} 的模糊评价依赖于能够反映各因素影响评价的程度的指标权重向量,已知因素集 \mathbf{U} 中 n 个因素的指标权重向量为 \mathbf{w} ,由加权平均型 $M(\cdot \oplus)$ 模糊运算原则得到 \mathbf{U} 的一级模糊评价集为:

$$\mathbf{b} = \mathbf{w} \cdot \mathbf{R} \quad (18)$$

式中: $b_j = w_1 r_{1j} + w_2 r_{2j} + \dots + w_n r_{nj} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$ 。

步骤3 根据最大隶属度原则,选择一级模糊综合评价集 $\mathbf{B} = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ 中最大的 b_j 对应的评语等级 v_j 为模糊综合评价的结果。

3 实例分析

3.1 模糊评价矩阵的确定

本文选取 K, L, M, N 4 型防空反导指控系统作

为样本进行信息采集,邀请 10 位评价专家,对收回的 10 份样本数据进行验证分析,并根据分析结果对

敏捷性的 11 个指标进行投票及量化。由式(1)和(2)计算得到模糊综合评价矩阵,具体如下:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{R}_K = & \begin{pmatrix} 0 & 0.3056 & 0 & 0.3034 & 0.1874 & 0.1500 & 0.0562 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0393 & 0 & 0.2523 & 0.2799 & 0.1031 & 0.3166 & 0.0088 & 0 \\ 0 & 0.0250 & 0.0913 & 0.2501 & 0 & 0.3192 & 0.3144 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0807 & 0.1901 & 0.2789 & 0.4086 & 0.0417 & 0 & 0.0145 \\ 0.0207 & 0.0486 & 0.0373 & 0 & 0 & 0.0941 & 0.3103 & 0.262 & 0 \\ 0.0350 & 0.2306 & 0.1800 & 0.2188 & 0.2034 & 0.0749 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1502 & 0 & 0.0115 & 0.0139 & 0 & 0.2541 & 0 & 0.3022 & 0.2969 \\ 0.0434 & 0.1210 & 0.1596 & 0.3617 & 0.2573 & 0.1321 & 0.0521 & 0.0014 & 0 \\ 0.2630 & 0.0336 & 0 & 0.2864 & 0.2170 & 0.0091 & 0 & 0.0100 & 0 \\ 0.2109 & 0.2971 & 0.0743 & 0.4175 & 0 & 0.0023 & 0 & 0.0012 & 0 \\ 0.1951 & 0.3641 & 0.3814 & 0.0594 & 0 & 0 & 0.0024 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 \mathbf{R}_L = & \begin{pmatrix} 0 & 0.0870 & 0.0981 & 0.2336 & 0 & 0.0142 & 0.3074 & 0.2740 & 0 \\ 0.0738 & 0.2307 & 0.0778 & 0.3265 & 0.3732 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0326 & 0.1995 & 0.1301 & 0.3112 & 0.3266 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1043 & 0.2957 & 0.2261 & 0.2030 & 0.1156 & 0.0552 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2632 & 0 & 0.1404 & 0.2456 & 0.2105 & 0.1404 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1672 & 0.3287 & 0.851 & 0.4190 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2043 & 0.2105 & 0.2281 & 0.1178 & 0.2406 & 0 & 0.0012 & 0 & 0 \\ 0.2986 & 0.2613 & 0.0154 & 0 & 0.4248 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1077 & 0.2226 & 0.2523 & 0.3477 & 0.0636 & 0.0169 & 0 & 0 \\ 0.0731 & 0.2524 & 0.1781 & 0.2155 & 0 & 0.2808 & 0 & 0.1154 & 0 \\ 0.1549 & 0.1843 & 0.2009 & 0.3753 & 0.0668 & 0.0178 & 0 & 0.0945 & 0 \end{pmatrix} \\
 \mathbf{R}_M = & \begin{pmatrix} 0 & 0.0252 & 0.3230 & 0.0398 & 0.3003 & 0.3116 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2532 & 0.1148 & 0.2496 & 0.2817 & 0.0665 & 0.0217 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2089 & 0.2326 & 0.2266 & 0.2315 & 0.0032 & 0.0363 & 0.0562 & 0.0048 & 0 \\ 0.0972 & 0.1802 & 0.2620 & 0.0991 & 0.2915 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0009 & 0.0067 & 0.0299 & 0.0895 & 0 & 0.1586 & 0.2191 & 0.2455 & 0.2482 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1071 & 0.1675 & 0.1955 & 0.2494 & 0.2805 \\ 0.0792 & 0.0538 & 0.3185 & 0.3268 & 0.2216 & 0 & 0.0031 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0066 & 0 & 0 & 0.1959 & 0.2576 & 0.2852 & 0.2396 & 0.0145 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0652 & 0 & 0.2950 & 0.2200 & 0.3089 & 0.1109 \\ 0.0369 & 0.0756 & 0 & 0.2477 & 0.3631 & 0.3177 & 0.2015 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 \mathbf{R}_N = & \begin{pmatrix} 0.1043 & 0.1156 & 0.0552 & 0.2261 & 0.2030 & 0.2957 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2581 & 0.2903 & 0.2258 & 0.1613 & 0.0645 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0455 & 0.1294 & 0.0619 & 0.2165 & 0.2159 & 0.3308 \\ 0 & 0.0034 & 0 & 0 & 0.0158 & 0.2441 & 0.2934 & 0.1367 & 0.3100 \\ 0 & 0.0060 & 0 & 0.0123 & 0.0871 & 0.2797 & 0.1291 & 0.3197 & 0.1721 \\ 0.0656 & 0.1285 & 0.3553 & 0.2596 & 0.1255 & 0.0537 & 0.0146 & 0 & 0 \\ 0.0476 & 0 & 0.1325 & 0.1674 & 0.2377 & 0.2507 & 0.1261 & 0.0512 & 0.0001 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1010 & 0.2091 & 0.2001 & 0.1034 & 0.2274 \\ 0.1028 & 0.2143 & 0.2700 & 0.2918 & 0.1076 & 0.0086 & 0 & 0.0155 & 0.0077 \\ 0 & 0.1404 & 0.2456 & 0.2105 & 0.2632 & 0.1404 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2246 & 0.0824 & 0.3045 & 0.3786 & 0.0100 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

3.2 指标权重确定

3.2.1 主客观权重

根据10位专家的数据分析结果,结合2.2.1节主客观权重计算模型确定各层指标的主客观权重见表2,则可得到主观权重: $q=(0.089\ 8, 0.269\ 3, 0.076\ 0, 0.152\ 0, 0.022\ 4, 0.111\ 9, 0.025\ 2, 0.025\ 2, 0.094\ 0, 0.089\ 5, 0.044\ 8)$ 。

表2 主客观权重表

Tab. 2 The subjective weight table

主准则层 (对目标层)		次准则层 (对主准则层)		次准则层 (对目标层)	
指标	权重	指标	权重	指标	权重
P_1	0.359 0	Q_1	0.250 0	Q_1	0.089 8
		Q_2	0.750 0	Q_2	0.269 3
P_2	0.228 0	Q_3	0.333 3	Q_3	0.076 0
		Q_4	0.666 7	Q_4	0.152 0
P_3	0.134 0	Q_5	0.166 7	Q_5	0.022 4
		Q_6	0.833 3	Q_6	0.111 9
P_4	0.050 4	Q_7	0.500 0	Q_7	0.025 2
		Q_8	0.500 0	Q_8	0.025 2
P_5	0.094 0	Q_9	1.000 0	Q_9	0.094 0
P_6	0.134 3	Q_{10}	0.666 7	Q_{10}	0.089 5
		Q_{11}	0.333 3	Q_{11}	0.044 8

3.2.2 客观权重

r_{ij} 指的是指标 $u_i(i=1,2,\dots,n)$ 具有评语 $v_j(j=1,2,\dots,m)$ 的程度,由前面获得的K,L,M,N 4型防空反导指控系统的敏捷性模糊综合评价矩阵,根据最大隶属度原则^[17],每一行最大的 r_{ij} 对应的评语等级 v_j 代表每个型号的相应指标 u_i 的等级标度,即每个型号次准则层各个指标的客观评价结果,见表3。

表3 次准则层指标客观评价结果

Tab. 3 The objective evaluation results of subcriterion layer index

指标	K	L	M	N
Q_1	8	3	7	4
Q_2	3	5	6	7
Q_3	4	5	8	5
Q_4	4	8	5	1
Q_5	3	9	1	2
Q_6	8	6	1	7
Q_7	2	5	6	4
Q_8	6	5	3	1
Q_9	6	5	4	6
Q_{10}	6	4	3	5
Q_{11}	7	6	5	6

根据式(8)对表3的评价结果进行归一化处理

后,将结果依次代入式(11)~(15),求得最大投影值为0.419,最佳投影方向为: $a^*=(0.171\ 4, 0.043\ 2, 0.303\ 0, 0.059\ 9, 0.271\ 2, 0.472\ 1, 0.047\ 0, 0.367\ 6, 0.357\ 3, 0.358\ 9, 0.427\ 9)$ 。则客观权重为: $\omega=(0.029\ 4, 0.001\ 9, 0.091\ 8, 0.003\ 6, 0.073\ 5, 0.222\ 9, 0.002\ 2, 0.135\ 1, 0.127\ 7, 0.128\ 8, 0.183\ 1)$ 。

3.2.3 综合权重

根据式(16)~(18)可得综合权重: $\omega=(0.056\ 2, 0.120\ 4, 0.084\ 8, 0.069\ 3, 0.050\ 9, 0.173\ 7, 0.012\ 4, 0.086\ 4, 0.112\ 3, 0.111\ 4, 0.121\ 8)$ 。

3.3 防空反导指控系统敏捷性综合评价

结合2.3节的模糊综合评价模型,可以计算得到相应的一级模糊综合评价集,具体如下所示:

$B_K=(0.089\ 5, 0.158\ 2, 0.117\ 0, 0.237\ 1, 0.145\ 5, 0.109\ 9, 0.091\ 4, 0.019\ 4, 0.004\ 7)$

$B_L=(0.116\ 7, 0.215\ 0, 0.137\ 0, 0.277\ 7, 0.178\ 2, 0.052\ 4, 0.019\ 2, 0.039\ 8, 0.000\ 0)$

$B_M=(0.060\ 5, 0.058\ 2, 0.098\ 3, 0.128\ 1, 0.160\ 7, 0.183\ 9, 0.145\ 4, 0.124\ 9, 0.073\ 9)$

$B_N=(0.056\ 7, 0.110\ 2, 0.196\ 2, 0.193\ 9, 0.123\ 4, 0.107\ 9, 0.066\ 7, 0.055\ 4, 0.078\ 8)$

根据最大隶属度原则可以得到4型防空反导指控系统的敏捷性评价结果见表4。

表4 敏捷性模糊综合评价结果

Tab. 4 The agility fuzzy comprehensive evaluation results

型号	K	L	M	N
评价结果	较敏捷(6)	较敏捷(6)	较差(4)	敏捷(7)

分析综合评价结果得出敏捷性6个要素的重要程度排序为:适应性、灵活性、响应性、多用性、创新性、恢复性,而决策时效性、信息共享能力、网络连通性、软件通用性及战术创新性对综合评价结果的影响程度较大,可以看出在决策时效性上N型明显优于其它型,体现防空反导指挥控制作战中实时决策的重要程度,而M型虽在决策时效性上优于K、L型,但其它方面的结果明显较差,因此在设计防空反导指控系统中应综合考虑多方面要素。

4 结语

未来的防空反导作战将面临更严峻的挑战,因而敏捷性评价在指控系统设计和维护改善阶段更加具备现实意义。本文以防空反导指控系统敏捷性评价为研究对象,构建基于AHP和RAGA-PPC的主客观综合赋权评价模型,通过实例进行验证该评价

模型的有效性,并根据综合评价结果的分析,对改善指控系统敏捷性及未来防空反导指控系统的设计提供指导性建议,体现出该评价模型的实用价值。

参考文献(References):

- [1] ALBERTS D S, HAVES R E. Power to the Edge: Command Control in the Information Age[M]. Washington DC: Information Age Transformation Series, CCRP Publications, 2003.
- [2] ALBERTS D S. The Agility Advantage: A Survival Guide for Complex Enterprises and Endeavors[M]. Washington DC: Information Age Transformation Series, CCRP Publications, 2011.
- [3] HUBER R K, MOFFAT J, ALBERTS D S. Achieving Agile C2 by Adopting Higher Levels of C2 Maturity[C]//17th ICCRTS, 2012, Paper Number:021.
- [4] 庄万玉,凌丹,赵瑾,等.关于敏捷性评价指标权重的研究[J].电子科技大学学报,2006,35(6):985-988.
ZHUANG W Y, LING D, ZHAO J, et al. Research on Weights of Agility Appraisalment Indexes[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2006, 35(6):985-988. (in Chinese)
- [5] NATO SAS-085 Research Task Group. SAS-085 Final Report on C2 Agility[R]. Washington DC: CCRP Publication, 2014.
- [6] DAVID S ALBERTS. The Agility Advantage[M]. Washington DC: CCRP Publication Series, 2011.
- [7] 苏坤,申卯兴,高培南,等.防空反导一体化作战体系研究[J].航天制造技术 2011,10(5):65-68.
SU K, SHEN M X, GAO P N, et al. Research on Integrated Combat System for Air Defense and Antimissile [J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2011, 10(5):65-68. (in Chinese)
- [8] 徐品高.防空反导战术 C3I 系统的特点和发展趋势[J].现代防御技术,1995,5:60-68.
XU P G. Characteristics and Development Trend of Air Defense and Anti Missile Tactical C3I System[J]. Modern Defense Technology, 1995, 5:60-68. (in Chinese)
- [9] DAVID S ALBERTS, MARCO MANSO. Operationalizing and Improving C2 Agility: Lessons from Experimentation[C]//17th ICCRTS, 2012-086.
- [10] DAVID S ALBERTS. Measuring Agility [C]//16th ICCRS, 2011-002.
- [11] 赵敏,贺正洪,岳韶华,等 C2 系统的敏捷性[J].火力与指挥控制,2016,41(9):1-5.
ZHAO M, HE Z H, YUE S H, et al. Agility of C2 System[J]. Fire Control & Command Control, 2016, 41(9):1-5. (in Chinese)
- [12] 熊立,梁樑,王国华.层析分析法中数字标度的选择与评价方法研究[J].系统工程理论与实践,2005,30(3):72-77.
XIONG L, LIANG L, WANG G H. Method Research on Selection and Valuation of Numeric Scale in Analytic Hierarchy Process[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2005, 30(3):72-77. (in Chinese)
- [13] 陈水利,李敬功,王向公.模糊集理论及应用[M].北京:科学出版社,2016:78-80.
CHEN S L, LI J G, WANG X G. Fuzzy Set Theory and Application[M]. Beijing: Science Press, 2016: 78-80. (in Chinese)
- [14] 马亚龙,绍秋峰,孙明,等.评估理论和方法及其军事应用[M].北京:国防工业出版社,2013:45-49.
MA Y L, SHAO Q F, SUN M, et al. Assessment Theories & Methods and the Military Applications[M]. Peking: National Defense Industry Press, 2013: 45-49. (in Chinese)
- [15] 李鹏程,韩春,王月敏,等.改进的 RAGA-PPC 模型及其在河流健康评价中的应用[J].长江科学院院报,2016,33(9):18-22.
LI P C, HAN C, WANG Y M, et al. Improved RAGA-PPC Model and Its Application to River Health Assessment[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2016, 33(9):18-22. (in Chinese)
- [16] 杨晓华,陆桂华,郦建强.混合加速遗传算法在流域模型参数优化中的应用[J].水科学进展,2002,13(3):340-344.
YANG X H, LU G H, LI J Q. Application of the Hybrid Accelerating Generic Algorithm to Parameter Optimization of Basin Model[J]. Advances in Water Science, 2002, 13(3):340-344. (in Chinese)
- [17] LIU P, HE L, YU X. Generalized Hybrid Aggregation Operators Based on the 2-dimension Uncertain Linguistic Information for Multiple Attribute Group Decision Making [J]. Group Decision and Negotiation, 2016, 25(1):103-126.

(编辑:徐敏)