

doi: 10.7690/bgzd.2016.01.006

基于熵值和 TOPSIS 法的装备体系方案优选方法

张树杰¹, 黄勇², 王静滨¹, 陈欣鹏¹

(1. 防空兵学院指挥控制系, 郑州 450052; 2. 防空兵学院导弹系, 郑州 450052)

摘要: 针对传统的方案筛选方法会产生海量数据且评估不客观的问题, 提出一种基于熵值和 TOPSIS 法的装备体系方案优选方法。在确定装备体系方案优选指标的基础上, 构建了基于熵值赋权的 TOPSIS 法装备体系方案价值评估与优选模型, 并通过实例验证了该模型的有效性。结果表明: 该方法能有效提高装备体系方案优选的科学性、客观性和有效性, 从而为装备论证人员开展装备体系方案优选工作提供参考。

关键词: 装备体系; 熵值法; TOPSIS 法; 多属性决策; 方案优选

中图分类号: TJ03 **文献标志码:** A

Optimizing Method for Equipment System Based on Entropy and TOPSIS Method

Zhang Shujie¹, Huang Yong², Wang Jingbin¹, Chen Xinpeng¹

(1. Department of Command & Control, Air Defense Forces Academy, Zhengzhou 450052, China;

2. Department of Missile, Air Defense Forces Academy, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: To solve the problems of traditional optimizing methods which would produces huge amounts of data and obtain subjective result, an optimizing model for equipment system based on entropy and TOPSIS method is proposed. Based on optimizing target system of equipment system scheme, the model is built, and an instance is used as an example to verify the effectiveness of the method. The analysis shows that the method could improve the scientific nature, objectivity and effectiveness of scheme optimization, and give reference for the equipment experts in equipment system scheme optimization demonstration.

Keywords: equipment system; entropy method; TOPSIS method; multi-attribute decision-making; scheme optimization

0 引言

在装备体系发展论证工作中, 装备体系优化的核心任务是寻求体系的优化, 从而使装备体系在结构、比例、技术水平、全寿命周期费用等方面达到整体优化^[1]。装备体系发展论证通常包括装备体系的军事需求分析、体系层次结构分析、体系价值综合评估、体系方案价值评估与优选等环节^[2]。可见, 体系方案优选是装备体系优化不可或缺的重要环节。现代武器装备体系是一个典型的复杂巨系统, 采用传统的先遍历体系成员所有元素, 再根据约束条件对体系方案进行筛选的方法, 会产生海量的数据, 造成“数据灾难”; 因此, 可以采用多属性决策的方法, 在构建评价准则和综合评价模型的基础上, 对在定性与定量相结合的基础上设计的多种可行体系方案, 进行综合评估, 从而选择出最优的体系方案。由于这种方法的寻优范围已经事先确定, 因而数据量和计算量将大大减少。

采用多属性决策方法有效解决装备体系方案优选问题的关键在于属性相对重要性(权重)的确定和

方案优选算法, 两者将直接影响方案价值评估与优选的科学性、客观性和有效性。笔者采用熵值法确定各评价准则的权重, 摒弃主观赋权法的弊端, 减少人为影响, 充分利用决策方案中的信息; 然后运用逼近理想解的优选方法(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS), 建立基于熵值法赋权的 TOPSIS 法装备体系方案价值评估与优选模型, 以解决装备体系方案价值评估与优选问题。

1 装备体系方案价值评估与优选的指标

一般情况下, 武器装备发展论证中, 确定性情形下优选的主要指标(准则)是价值与费用, 考虑不确定性, 则是价值、费用与风险三者之间的权衡。而对于武器装备体系这一典型的复杂巨系统, 需要考虑根据装备体系的组成和功能特点, 参考国内外成熟的有关装备体系指标系统的设计经验, 在认真分析我军装备体系建设特点与现状的基础上, 按照完备性、有限性、可测性、独立性的原则^[3], 建立明确、合理的评估与优选指标。根据基本原则, 从

收稿日期: 2015-08-09; 修回日期: 2015-09-15

作者简介: 张树杰(1978—), 男, 山东人, 硕士, 讲师, 从事防空兵武器装备建设与发展研究。

装备体系评价的总体要求出发，通过分层次地分析影响装备体系评价总体价值的各相关评价指标，将评估与优选指标确定为装备体系效能、体系一体化程度、配套水平和寿命周期费用。

1.1 装备体系效能

装备系统效能指武器装备系统在一定条件下，满足一组特定任务要求的可能程度；而装备体系效能是装备体系中各武器装备系统效能的综合，反映了装备体系执行特定作战任务所达到的预期可能目标的程度^[4]，可以说是整个指标系统中最为重要的指标之一。其二级指标可进一步区分为作战效能、机动性、可用度、环境适应性、安全防护性和信息化水平。

1.2 体系一体化程度

适应未来联合作战要求，装备体系各装备系统之间应该实现网络互连、信息互通和互相操作，使各装备之间相互协调、密切配合，形成整体优势。体系一体化程度指标反映了预期体系满足一体化建设实际需求的程度。其二级指标可进一步区分为体系互连互通性、体系互操作性、体系综合程度、体系标准化水平。

1.3 配套水平

配套水平评价指标反映了装备体系与外部其他体系以及系统之间的协调配套情况。其二级指标可进一步区分为与武器装备体系配套水平、专业后勤装备体系配套水平。

1.4 寿命周期费用

寿命周期费用主要是指武器装备体系在其寿命周期所需支付的费用总和。其二级指标可进一步区分为最初投资费用、研究研制费用、使用保障费用、系统废弃费用。

2 装备体系方案优选模型

TOPSIS 法的基本思想是利用方案 A_i 与理想点和负理想点的欧几里得距离信息对多个方案进行评估排序，优选出尽可能接近理想点而又尽可能远离负理想点的最优方案。基于熵值法赋权的 TOPSIS 法的基本思路是：在根据指标属性信息构建决策矩阵(属性矩阵)并对其无量纲化处理的基础上，利用熵值法确定各指标的权重，然后构造加权的规范决策矩阵，确定理想点和负理想点及各个方案与理想点的相对接近程度，最后对方案进行价值评估和优选。

2.1 决策矩阵的构建

多属性决策问题的决策矩阵是求解多属性决策问题的依据，是属性值和决策准则这 2 个要素的基础^[5]。设 $A_i(i=1,2,\dots,m)$ 表示第 i 个方案， $X_j(j=1,2,\dots,n)$ 表述第 j 属性，则多属性决策问题可用下面的矩阵 M 表示：

$$M = (x_{ij})_{m \times n}。 \quad (1)$$

决策矩阵中 M 中的元素 x_{ij} 表示第 i 方案 A_i 在第 j 属性 X_j 下的属性值。对于装备体系方案价值评估与优选这一多属性决策问题，设有 m 个决策方案，而根据前面确定的优选指标，属性值的个数为 4 或者 17，即 $n=4$ 或 $n=17$ 。当 $n=4$ 时，将选取一级指标信息，建立决策矩阵；而当 $n=17$ 时，选取二级指标信息构建决策矩阵。为便于描述，在后文中选用 $n=4$ 。这样，体系方案价值评估与优选的决策矩阵可以表示为 $M = (x_{ij})_{m \times 4}$ 。

2.2 属性的无量纲化及规范化

由于衡量体系方案价值评估与优选方案的各项属性的量纲、数量级和优劣的取向均有很大差异，需要对方案 A_i 各属性的初始值进行标准化处理。这里的标准化处理是指定性属性(或模糊属性值)的量化和属性值的规范化。

定性属性(或模糊属性值)的量化采用 Bipolar 标度法。Bipolar 标度是具有 10 格的刻度。一般使用范围是 1~9。无论哪种属性其偏好最大取 9.0，偏好最小取 1.0。

属性值的规范化采用向量规划法对决策矩阵 M 中的列向量的值 x_{ij} 作变化如下：

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}。 \quad (2)$$

这样，体系方案价值评估与优选的决策矩阵转换为 $R = (r_{ij})_{m \times 4}$ 。

2.3 属性相对重要性(权重)的确定

权重对多属性决策结果具有至关重要的作用。确定权重的方法大致可分为 2 类：一类是主观赋权法，其优点是简单易行，充分利用专家经验，但主观随意性大；另一类是客观赋权法，例如熵值法、变异系数法等。熵值法是利用决策矩阵中各方案的

固有信息，通过熵值法得到各个指标的信息熵，信息熵越小，信息的无序度越低，其信息的效用值越大，指标的权重越大；反之，则指标的权重越小。

已知决策矩阵 $M = (r_{ij})_{m \times 4}$ ，用 p_{ij} 表示第 j 个属性 X_j 下第 i 个方案 A_i 的贡献度：

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (3)$$

这样可以用 E_j 来表示所有方案对属性 X_j 的贡献总量：

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

其中常数 K 可以取 $K = 1/\ln m$ ，这样就能保证 $0 \leq E_j \leq 1$ 。

设 d_j 为第 j 个属性 X_j 下对各方案贡献度的一致性程度： $d_j = 1 - E_j$ ，则各属性权重 w_j 可表示如下：

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n d_j} \quad (5)$$

2.4 基于熵值法与 TOPSIS 法的算法步骤

1) 构建加权规划化决策矩阵

$$Z = (v_{ij})_{m \times 4} \quad (6)$$

其中

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j \quad (1 \leq i \leq m; 1 \leq j \leq 4) \quad (7)$$

2) 确定理想点 A^* 和负理想点 A^- 。

当属性值为效益型时，理想方案为每列中的 max 值，负理想方案为每列中的 min 值；当属性值为损失型（或成本型）时，则相反。

$$A^* = [(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J')] = [v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^* \dots v_n^*], \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (8)$$

$$A^- = [(\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J')] = [v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^- \dots v_n^-], \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (9)$$

其中： $J = \{j = 1, 2, \dots, n | j \text{ 为效益型的目标属性}\}$ ；

$J' = \{j = 1, 2, \dots, n | j \text{ 为损失型的目标属性}\}$ 。

3) 计算被评价方案与理想点 A^* 和负理想点 A^- 的距离。可以通过欧几里得距离来度量方案与理想点以及与负理想点的距离，其大小分别为

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, \quad S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (10)$$

4) 计算各个装备体系方案与理想点的相对逼近程度 C_j 为

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (i = 1, 2, \dots, m; 0 \leq C_i \leq 1) \quad (11)$$

其中 $\begin{cases} S_i^- = 0 \text{ 时, } C_i = 0, A_i = A_i^- \\ S_i^* = 0 \text{ 时, } C_i = 0, A_i = A_i^* \end{cases}$ 。

5) 排序，根据 C_j 的大小对各方案进行排序。

3 实例应用

在某装备体系发展论证过程中，经过军事需求分析、体系层次结构分析、体系价值综合评估等阶段，并对形成的初步目标方案筛选后，确定了 4 个可行性体系方案。通过数学建模、系统仿真等形式获取了每个方案的装备体系效能、体系一体化程度、配套水平、寿命周期费用 4 个属性的信息。形成的决策矩阵 M ，由式 (2) 得到规范化矩阵 R ：

$$M = \begin{pmatrix} 0.8 & 9 & 5 & 5.5 \\ 0.9 & 5 & 3 & 6.5 \\ 0.72 & 7 & 7 & 4.5 \\ 0.88 & 5 & 5 & 5.0 \end{pmatrix};$$

$$R = \begin{pmatrix} 0.4831 & 0.6708 & 0.4811 & 0.5069 \\ 0.5434 & 0.3727 & 0.2887 & 0.5990 \\ 0.4347 & 0.5217 & 0.6736 & 0.4147 \\ 0.5314 & 0.3727 & 0.4811 & 0.4603 \end{pmatrix}.$$

由规范化矩阵 R 及式 (3)，可以计算出各指标对方案的贡献度，如表 1 所示。

表 1 装备体系评价指标的贡献度

方案	装备体系效能	一体化程度	配套水平	寿命周期费用
A_1	0.242 4	0.346 1	0.25	0.255 9
A_2	0.272 7	0.192 3	0.15	0.302 4
A_3	0.218 2	0.269 2	0.35	0.209 3
A_4	0.266 7	0.192 3	0.25	0.232 4

由式 (4)、式 (5)，可以计算出各指标的熵值及权重，如表 2 所示。

表 2 属性熵值及权重的确定

熵权值	装备体系效能	一体化程度	配套水平	寿命周期费用
E_j	0.997 3	0.977 1	0.970 3	0.993 3
d_j	0.002 7	0.022 9	0.029 7	0.006 7
w_j	0.043 5	0.369 4	0.479 0	0.108 1

由式 (7) 将权重加入规范化决策矩阵，得到加权标准化的决策矩阵：