

地空导弹武器型号论证综合决策模型

黄建新, 赵英俊, 张志峰

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:以系统效能、费用、研制周期和风险4个目标为论证准则,根据其目标权重是否确知,基于最小加权隶属度偏差方法建立了地空导弹武器型号论证综合决策模型,为决策者进行型号决策提供了一种定量分析方法。

关键词:地空导弹;型号论证;多目标决策;模型

中图分类号:TJ760.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2005)01-0023-03

在地空导弹武器型号论证阶段,通过单目标论证型号的优劣,即单纯强调系统效能最高或费用最低或研制周期最短都是不全面的,需要从系统效能、费用、研制周期和风险等多个目标对待选型号进行综合论证。这是一个典型的多目标决策问题。文中采用多目标决策方法,以系统效能、费用、研制周期和风险4个目标为论证准则,建立多目标综合论证决策模型,给地空导弹武器型号的论证选择提供了一种技术方法支持。

1 型号论证目标体系

在地空导弹武器型号论证过程中,在费用约束下,在一定的研制周期内,以可接受的风险得到满足各项战术技术指标和使用要求为其论证型号的主导思想。在广泛征询专家意见、总结多年论证工作经验的基础上,深入研究了影响地空导弹武器型号论证的各种因素,应从系统效能、费用、研制周期和风险4个方面建立地空导弹武器型号论证决策目标体系^[1]。

2 模型基础

2.1 问题描述

多目标决策问题^[2]一般都需要综合考虑多个相互冲突、不可公度的目标,从中选择出最满意的方案供决策者使用。设方案集为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,目标集为 $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$,决策矩阵 $F = (f_{ij})_{m \times n}$, f_{ij} 是方案 x_j 的第 i 个目标值。一般目标有4种类型:效益型、成本型、固定型和区间型。若将所有目标 $f_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 的下标组成的集合记为指标集 $O = \{1, 2, \dots, m\}$,则可将 O 划分为4个子集 $O^k (k = 1, 2, 3, 4)$,且

$$O = \bigcup_{k=1}^4 O^k, \quad O^k \cap O^l = \emptyset \quad (k \neq l; k, l = 1, 2, 3, 4) \quad (1)$$

其中, $O^k (k = 1, 2, 3, 4)$ 分别为效益型、成本型、固定型和区间型目标集, \emptyset 为空集。在型号论证决策目标体系中,系统效能属于效益型目标 O^1 ,费用、研制周期和风险都属于成本型目标 O^2 。

2.2 目标相对隶属度

为消除不同物理量纲对决策结果的影响,可先将决策矩阵转变为相对隶属矩阵,即 $\mu = (\mu_{ij})_{m \times n}$ 。其中:

$$1) \text{ 效益型目标 } \mu_{ij} = [(f_{ij} - f_{i\min}) / (f_{i\max} - f_{i\min})]^{p_i} (i \in O^1);$$

收稿日期:2004-09-22

作者简介:黄建新(1969-),男,甘肃临夏人,工程师,博士生,主要从事武器装备管理与决策支持研究;
张志峰(1960-),男,陕西礼泉人,教授,博士生导师,主要从事武器装备管理与决策支持研究。

2) 成本型目标 $\mu_{ij} = [(f_{i\max} - f_{ij}) / (f_{i\max} - f_{i\min})]^{p_i} (i \in O^2)$, p_i 是由决策者确定的参数, 且 $f_{i\max} = \max_{1 \leq j \leq n} \{f_{ij}\}$, $f_{i\min} = \min_{1 \leq j \leq n} \{f_{ij}\}$;

3) 固定型目标 $\mu_{ij} = \begin{cases} 1 & (f_{ij} = f_i^*) \\ 1 - (|f_{ij} - f_i^*| / \sigma_i)^{p_i} & (f_{ij} \neq f_i^*) \end{cases} (i \in O^3)$, f_i^* 是决策者事先给定的第 i 个目标 $f_i (i \in O^3)$ 的最佳值, 且 $\sigma_i = \max_{1 \leq j \leq n} \{|f_{ij} - f_i^*|\} (i \in O^3)$;

4) 区间型目标 $\mu_{ij} = \begin{cases} 1 - [(f_i - f_{ij}) / \eta_i]^{p_i} & (f_{ij} < \bar{f}_i) \\ 1 & (f_{ij} \in [\bar{f}_i, \bar{f}_i]) \\ 1 - [(f_{ij} - \bar{f}_i) / \eta_i]^{p_i} & (f_{ij} > \bar{f}_i) \end{cases} (i \in O^4)$, 闭区间 $[\bar{f}_i, \bar{f}_i]$ 是决策者给定的第 i 个目标 $f_i (i \in O^4)$ 的最佳区间值, 且 $\eta_i = \max\{\bar{f}_i - f_{i\min}, f_{i\max} - \bar{f}_i\} (i \in O^4)$.

的

2.3 目标权重

解决多目标决策问题的基本思想是将其变换成单目标数学规划问题。在这种变换过程中, 通常都需要融入决策者的知识经验、期望等偏好信息, 即目标权重。因此, 如何获得决策者的目标权重是解决多目标决策问题的关键。目标权重的获得有 3 种情况: 完全确知、不完全确知和完全不确定^[3]。设权重向量为

$$\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T, \omega_i \geq 0, \sum_{i=1}^m \omega_i = 1, i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

由于决策者部分偏好信息为事先确知, 故权重向量中有些分量已知, 有些分量则是待定的未知量。于是, 假定前 p 个目标权重待定, 后 $(m - p)$ 个权重是已给定的, 其中 $0 \leq p \leq m$, 即

$$\omega_i = \omega_i^* \geq 0, \sum_{i=p+1}^m \omega_i^* \leq 1, (i = p + 1, p + 2, \dots, m) \quad (3)$$

记

$$\omega = (\bar{\omega}^T, \omega_{p+1}^*, \omega_{p+2}^*, \dots, \omega_m^*)^T, \bar{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_p)^T$$

$$d = 1 - \sum_{i=p+1}^m \omega_i^*, c = 1 - \sum_{i=p+1}^m \omega_i^{*2}$$

可利用最小加权隶属度偏差方法确定出待定的目标权重 $\omega_i (i = 1, 2, \dots, p)$ ^[2]。

3 型号论证决策模型

对系统效能、费用、研制周期和风险各个单项目标的决策运用单目标数学规划即可求得, 已有许多论述, 这里不再赘述^[1]。下面采用多目标决策方法, 建立型号论证综合决策模型。

根据优化决策的相对性^[4], 利用最小加权隶属度偏差方法进行多目标决策。定义相对理想方案为

$$G = (g_1, g_2, \dots, g_m)^T \quad (4)$$

式中, $g_i = \max_{1 \leq j \leq n} \{\mu_{ij}\} (i = 1, 2, \dots, m)$, 表示所有 n 个方案中第 i 个目标 $f_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 的最大相对隶属度。由此得知, 决策方案 x_j 越接近 G , x_j 就越优, 因此可用方案 x_j 偏离 G 的程度来度量其优劣。对选取的指标

$$f_j(\bar{\omega}) = \sum_{i=1}^m \omega_i (g_i - \mu_{ij}), (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

进行刻画, 易见, 对于给定的 ω , $f_j(\bar{\omega})$ 越小则 x_j 越优。于是, 可建立如下形式的多目标决策模型, 即

$$\min \{f(\bar{\omega}) = (f_1(\bar{\omega}), f_2(\bar{\omega}), \dots, f_n(\bar{\omega}))^T, \sum_{i=1}^p \omega_i^2 = c, \omega_i \geq 0, (i = 1, 2, \dots, p)\} \quad (6)$$

由于每个方案都是非劣的, 不存在任何偏好关系, 将上述多目标决策问题等权重集结为下列等价的单目标非线性规划问题, 即

$$\min \{z(\bar{\omega}) = \sum_{j=1}^n f_j(\bar{\omega}) / n, \sum_{i=1}^p \omega_i^2 = c, \omega_i \geq 0, (i = 1, 2, \dots, p)\} \quad (7)$$

并引入拉格朗日函数, 对其求解得

$$\hat{\omega}_i = \sum_{j=1}^n (g_i - \mu_{ij}) \left\{ c / \sum_{i=1}^p \left[\sum_{j=1}^n (g_i - \mu_{ij})^2 \right] \right\}^{1/2} (i = 1, 2, \dots, p) \quad (8)$$

一般地,按式(1)规范化目标权重向量,可得目标权重为

$$\omega_i^* = d \sum_{j=1}^n (g_i - \mu_{ij}) / \left[\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (g_i - \mu_{ij}) \right] \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (9)$$

将式(9)和式(3)代入式(5),可得各个方案的加权隶属度偏差值为

$$f_j(\bar{\omega}^*) = \sum_{i=1}^m \omega_i^* (g_i - \mu_{ij}) \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

若方案 x_{j_0} 满足 $f_{j_0}(\bar{\omega}^*) = \min \{f_j(\bar{\omega}^*) | j = 1, 2, \dots, n\}$, 则 x_{j_0} 为决策者的最满意方案,并按 $f_j(\bar{\omega}^*) (j = 1, 2, \dots, n)$ 从小到大的顺序得出方案集 X 的优劣排序。

若目标权重 ω 完全确知,直接利用式(8)做出决策;若目标权重完全不确定,即 $p = m$ 时,有 $d = 1$ 。

4 模型比较分析

对于决策者偏好信息完全确知和完全不确知的多目标决策已有不少有效方法,如 TOPSIS 法、模糊迭代法、模糊优选法、加权平均规划法、模糊神经网络综合决策法、熵权模糊决策法等^[5-6]。而本文建立的最小加权隶属度偏差方法,其确定目标权重是一种客观赋权法,除解决偏好信息完全确知和完全不确知这两种极端情况的多目标决策问题之外,对介于这两种极端情况的多目标决策问题也适用。

考虑到地空导弹武器的复杂性,在其型号论证时系统效能、费用、研制周期和风险等 4 个目标权重难以全部确知,因此,为较准确地对其作出决策,可根据上述得出的综合决策模型,得到多目标准则下地空导弹武器论证的最佳型号决策模型,决策的结果相对比较合理、客观,比其它决策方法简单易行。

5 结束语

本文基于最小加权隶属度偏差方法建立的地空导弹武器型号论证综合决策模型,从系统效能、费用、研制周期和风险等 4 个方面对地空导弹武器型号论证阶段的各待选型号进行综合评估和分析,不论在目标权重是否已知均可得到多目标准则下地空导弹武器论证的最佳型号决策模型,为决策者进行型号决策提供了定量分析技术,对其他武器装备型号论证有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 吕彬. 地地弹道导弹研制方案综合评价决策模型[J]. 系统工程与电子技术, 1996, 18(10): 64-72.
- [2] 李登峰. 模糊多目标多人决策与对策[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [3] 李登峰, 程春田, 陈守煜. 部分信息不完全的多目标决策方法[J]. 控制与决策, 1998, 13(1): 83-86.
- [4] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [5] 魏世孝, 周献中. 多属性决策理论方法及其在 C³I 系统中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [6] 刘永生, 高翔, 严聪. 导弹武器系统可靠性分配方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2002, 3(1): 33-35.

(编辑: 田新华)

A Comprehensive Decision Model of Type Proof for Ground to Air Missile

HUANG Jian-xin, ZHAO Ying-jun, ZHANG Zhi-feng

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract: A comprehensive decision model of type proof for ground to air missile is established based on minimum average weighted deviation method, which is proved under the rule of system effectiveness, cost, development cycle and risk, and of whether objective weight is clear or not. The model provides a kind of quantitative analysis technology for type decision makers.

Key words: ground to air missile; type proof; multi-objective decision-making; model