

防空反导导弹战斗部研制方案灰色聚类综合评价

韩晓明 南海阳, 陈俊杰, 姜科

(空军工程大学防空反导学院,陕西西安,710051)

摘要 依据防空反导导弹战斗部研制的特点,建立了战斗部研制方案综合评价指标体系。引入了效用函数和专家评估法分别对定量和定性评价指标进行统一量化,解决了评价指标意义、量纲不同且不同指标的评价在量纲上悬殊较大的问题。提出了一种基于灰色聚类理论的防空反导导弹战斗部研制方案综合评估模型,利用德尔菲法与层次分析法相结合确定和计算评价指标的聚类权重,通过计算各方案的决策测度并进行比较,实现了对各研制方案的优劣性的评价。通过算例分析,验证了模型的合理性。

关键词 战斗部;灰色聚类法;评价;防空反导导弹

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2014.01.007

中图分类号 TJ760.3+1 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2014)01-0029-05

Integrated Evaluation of Developing Plan of Air and Missile Defense Warhead by Grey Clustering Theory

HAN Xiao-ming, NAN Hai-yang, CHEN Jun-jie, JIANG Ke

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

Abstract: A comprehensive evaluation index system is established according to the plan-development characteristics of Air and Missile Defense warhead. Utility function and expert evaluation methods are introduced to quantify uniformly the quantitative index and the qualitative index, the big difference in dimension of significance of evaluation index, evaluation with different dimension and different index are solved. And then, a model of integrated evaluation for developing plan of air defense and antimissile warhead is put forward based on the grey clustering theory, the clustering weight of the evaluation index is ascertained and calculated by using of the Delphi Method and the Analytic Hierarchy Process. The evaluations for the superior and interior of developing plan are realized by calculating and comparing the decision-making measures of all plans. The rationality of the model is verified through example analysis.

Key words: warhead; grey clustering method; evaluation; air and missile defense missile

新一代高效毁伤防空反导导弹既要求能对付战 普通飞机等低速目标,因此,对所应用的战斗部性能
术弹道导弹等高速目标,又要求能对付巡航导弹和 提出了更高的要求。目前,建立在典型的作战环境

收稿日期:2013-04-15

基金项目:航空科学基金资助项目(20101396)

作者简介:韩晓明(1961—),男,陕西渭南人,教授,主要从事装备管理与决策研究,E-mail: hxm182@163.com

引用格式:韩晓明,南海阳,陈俊杰,等. 防空反导导弹战斗部研制方案灰色聚类综合评价[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2014,15(1): 29-33. HAN Xiaoming, NAN Haiyang, CHEN Junjie, et al. Integrated evaluation of developing plan of air and missile defense warhead by grey clustering theory [J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2014, 15(1): 29-33.

和想定基础上的单项效能分析较多,针对防空反导战斗部的研制方案还没有形成有效的或通用的分析方法。防空反导导弹战斗部研制方案评价所涉及的因素较多、范围较广,属于多目标决策问题,如何在众多的研制方案中作出准确的评价,是研究部门面临的重要课题。

1 战斗部研制方案综合评价指标体系

依据战斗部使用、研制特点,从战斗部的作战效能、研制费用和研制风险 3 部分着手确定防空反导导弹战斗部研制方案评价指标体系^[1]。

1.1 战斗部作战效能

对防空反导导弹战斗部而言,从开始执行任务到最后毁伤目标的全过程可分为 3 种情况,即开始执行任务时的状态、执行任务过程中的状态和完成任务的情况。而全面衡量这些性能的指标即是防空反导导弹战斗部的作战效能,因此,定义其为在规定的条件下使用时,完成防空反导任务要求的程度的度量^[2-4]。

战斗部效能的评定在防空反导导弹战斗部的设计、研制、试验、采购、使用及维护等各个阶段都是一个十分重要的问题,是防空反导导弹战斗部型号论证所必不可少有效工具和方法,对论证工作的科学合理性以及研制方案的正确性有重要意义。为了给研制管理者选择设计方案提供支持,需要对防空反导导弹战斗部作战效能进行深入研究,以了解型号系统方案是否达到预计的作战能力,满足有关的作战使用要求,从而为战斗部的研制方案综合评价提供定量的参考依据。

1.2 战斗部研制费用

作战效能评估是防空反导导弹战斗部研制方案评价的最重要的一部分,但在研制方案综合评价过程中,也必须同时考虑各方面的经济承受能力,即进行研制费用的研究。一味地追求高性能、高质量是片面而不科学的,在工程实际中也是不现实的。进行防空反导导弹战斗部研制费用分析的目的,是为了节省研制阶段的各种资源,以便在战斗部的寿命周期各阶段进行权衡,在各防空反导导弹战斗部型号之间进行比较,从而判断进行研制的必要性。因此,在防空反导导弹战斗部型号发展论证阶段,对战斗部的研制费用进行分析具有重要的意义。同时,导弹战斗部研制费用评价与作战效能分析也构成了导弹战斗部的费效分析^[5-6]。

1.3 战斗部研制风险

在防空反导导弹战斗部的研制中,由于采用了

新技术、新材料等,不可避免地会有一些不可预知因素的影响,从而会造成一些不希望事件的发生,如技术上难以解决的问题、性能上不能完全满足指标要求、计划费用的超支、预计研制进度的延误等。这些事件中有些是可以弥补的,如对研制费用的超支就可以通过适当地追加经费予以解决,而有的则可能会引起严重的后果,如遇到了一些目前还无法解决的技术难题,就有可能宣布一个项目研制的失败。导弹战斗部研制风险评价可以使研制方对战斗部各分系统及总系统的风险有一个清醒的认识,从而为方案选择及研制风险的管理和控制提供基础^[7-8]。

1.4 战斗部研制方案评价指标体系

对防空反导导弹战斗部研制方案进行综合评价,采用不同的准则,分析的结果也会不同。本文依据指标体系构建原则(系统性原则、简明性原则、客观性原则、时效性原则),综合考虑防空反导导弹战斗部的发展、特性及组成等因素,并参阅大量相关文献和征求专家的意见后,构建的防空反导导弹战斗部研制方案评价指标体系主要由作战效能、研制费用和研制风险 3 大部分组成,见图 1~图 3。

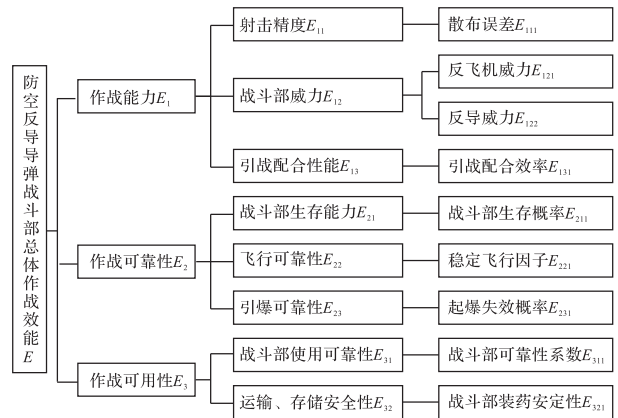


图 1 防空反导导弹战斗部作战效能综合评价指标体系

Fig.1 Comprehensive evaluation index system of air and missile defense warhead campaign effectiveness

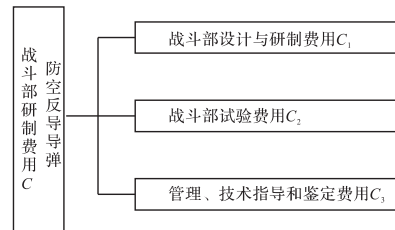


图 2 防空反导导弹战斗部研制费用综合评价指标体系

Fig.2 Comprehensive evaluation index system of air and missile defense warhead developing cost

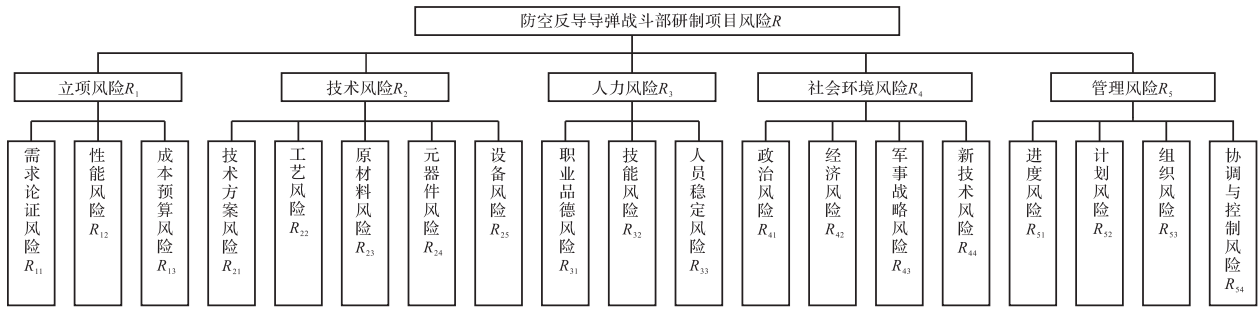


图 3 防空反导导弹战斗部研制风险综合评价指标体系

Fig.3 Comprehensive evaluation index system of air and missile defense warhead developing risk

2 战斗部研制方案综合评价模型

在对战斗部评价因素分析的基础上,根据灰色聚类法建立数学评价模型,通过计算各方案的测度并比较,实现对各研制方案优劣性的评价。

2.1 灰色聚类决策法

防空反导导弹战斗部研制方案的灰色聚类决策,首先拟按照研制方案的要求明确若干灰类,并将研制方案各评价指标相应划分为若干灰类;其次拟通过计算研制方案的聚类系数和单位聚类系数,从而计算得到研制方案的综合决策测度;最后按综合决策测度对所有方案进行评价排序,即可得到各研制方案的优劣排序^[9-11]。

2.1.1 研制方案评价等级及白化权函数

按照导弹战斗部研制方案评价的要求将研制方案各评价指标的取值范围由优到劣划分为 s 个灰类,并按照评价指标和灰类数,确定 j 指标 k 子类白化权函数 $f_j^k(x)$ ($j=1,2,\dots,m;k=1,2,\dots,s$)。

考虑到战斗部研制过程的特殊性,本文采用德尔菲法(Delphi)和层次分析法(AHP)来确定指标体系中各指标的权重。

2.1.2 聚类系数矩阵

评价方案 i 的聚类系数向量 $\sigma_i = (\sigma_i^1, \sigma_i^2, \dots, \sigma_i^s)$ ($i=1,2,\dots,n$)。式中 σ_i^k 为对象 i 关于 k 灰类的灰色定权聚类系数,其值为:

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m w_j f_j^k(x_{ij}) \quad (1)$$

从而得聚类系数矩阵:

$$\sigma^k = \begin{bmatrix} \sigma_1^k & \dots & \sigma_n^k \\ \vdots & & \vdots \\ \sigma_1^s & \dots & \sigma_n^s \end{bmatrix}$$

2.1.3 灰类等级

计算研制方案 i 属于灰类 k 的单位聚类系数为:

$$\delta_i^k = \frac{\sigma_i^k}{\sum_{k=1}^s \sigma_i^k} \quad (2)$$

由 $\max\{\delta_i^k\} = \delta_i^{k^*}$,判定方案 i 属于 k^* 灰类。

2.1.4 综合决策测度与研制方案优劣排序

为了对属于同一类灰类 k 的研制方案优劣排序,引入研制方案 i 属于灰类 k 的综合决策测度,其值为:

$$\omega_i = \eta_k \delta_i^k \quad (3)$$

式中, $\eta_k = (s-k+1, s-k+2, \dots, s, s+1, \dots, k)$, $k=1,2,\dots,s$ 为第 k 灰类的调整系数。如当 $s=3$ 时, $\eta_1 = (3, 2, 1)$, $\eta_2 = (2, 3, 2)$, $\eta_3 = (1, 2, 3)$ 。

按综合决策测度对同属于灰类 k 的所有方案进行排序,进而对所有方案进行优选决策。若 $\max\{\delta_{i_1}^k\} = \delta_{i_1}^{k^*}$, $\max\{\delta_{i_2}^k\} = \delta_{i_2}^{k^*}$, 且 $\omega_{i_1} > \omega_{i_2}$, 则在 k^* 灰类等级中,研制方案 i_1 优于方案 i_2 。

2.2 评价指标的归一化

2.2.1 定量指标的归一化

由于防空反导导弹战斗部研制方案评价指标(作战效能指标、研制费用指标、研制风险指标)大小和极性的不一致性,为了有效应用灰色聚类决策对研制方案评价优选,需要对不同意义、不同量纲且评价价值在量纲上悬殊较大的指标原始数据进行归一化处理^[9]。这里采用效用函数法对各指标进行归一化处理。针对防空反导导弹战斗部研制方案评价指标,作战效能指标是趋大优型,研制风险指标是趋小优型,研制费用指标是区间优型。

若防空反导导弹战斗部有 m 个特征参数 $C = (c_1, c_2, \dots, c_m)$, 其性能值 $d = (d_1, d_2, \dots, d_m)$, 性能指标的最大值点 $d_{\max} = (r_{\max}^1, r_{\max}^2, \dots, r_{\max}^m)$, 最小值点 $d_{\min} = (r_{\min}^1, r_{\min}^2, \dots, r_{\min}^m)$, 则有:

1) 趋大优型。特征参数 c_j 要求越大越好,则效用函数为:

$$\mu_j(d_j) = \frac{d_j}{r_{\max}^j}, d_j \in [r_{\min}^j, r_{\max}^j] \quad (4)$$

2) 趋小优型。特征参数 c_j 要求越小越好,则效用函数为:

$$\mu_j(d_j) = \frac{1 + (r_{\min}^j - d_j)(j)}{r_{\max}^j}, d_j \in [r_{\min}^j, r_{\max}^j] \quad (5)$$

3) 区间优型。特征参数 c_j 要求在 $[r_1, r_2]$ 范围内为适宜,则效用函数为:

$$\mu_j(d_j) = \begin{cases} \frac{d_j}{r_1}, & d_j \in [r_{\min}^j, r_1) \\ 1, & d_j \in [r_1, r_2] \\ 1 + \frac{(r_2 - d_j)}{r_{\max}^j}, & d_j \in (r_2, r_{\max}^j] \end{cases} \quad (6)$$

2.2.2 定性指标的量化处理

定性指标的量化,大都是借助于专家的理论 and 实践经验把定性问题转化为定量问题来进行处理,对于图 1~图 3 中涉及到的定性评估指标,在进行量化计算时,具体评分见表 1,介于 2 个等级之间的,可酌情评分。

表 1 指标性能评分表

Tab.1 Grade table for index capability

能力表现	高	较高	中	较低	低
评分	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1

3 算例分析

3.1 原始数据

以某型防空反导导弹战斗部研制方案综合评价和优选为例^[1],由专家提出了 7 种备选的方案,专家经过研究给出指标的具体数据见表 2(由于篇幅原因,3 级以下指标计算略)。

表 2 防空反导导弹战斗部研制方案

Tab.2 Developing plan of air and missile defense warhead

方案	指标集		
	E	C/万元	R
1	0.81	300	0.40
2	0.70	258	0.45
3	0.90	450	0.60
4	0.65	270	0.35
5	0.75	358	0.30
6	0.85	395	0.52
7	0.60	240	0.50

在防空反导导弹战斗部研制方案的评价指标体系中,系统效能指标为趋大优型,研制费用指标为区间优型,研制风险为趋小优型。专家研究决定,研制费用处于 $[280, 300]$ 为好。对表 2 的数据标准化,经过处理后,消除了数据的量纲,数值处于 $[0, 1]$,数值越大越好,见表 3。

表 3 防空反导导弹战斗部研制方案数据规一化处理

Tab.3 Normalized data for developing plan of air and

missile defense warhead

方案	指标集		
	E	C	R
1	0.900 0	1.000 0	0.833 3
2	0.777 8	0.921 4	0.750 0
3	1.000 0	0.666 7	0.500 0
4	0.722 2	0.964 3	0.916 7
5	0.833 3	0.871 1	1.000 0
6	0.944 4	0.788 9	0.633 3
7	0.666 7	0.857 1	0.666 7

3.2 确定指标权重

由 10 位专家根据评判准则运用德尔菲法与层次分析法相结合的方法得防空反导导弹战斗部系统效能、研制费用、研制风险的权重分别为:0.402 5、0.268 7、0.328 8。

3.3 方案灰类级别的判定

根据式(1)求得方案 i 关于 k 灰类的灰色定权聚类系数 σ_i^k ,从而得到 7 个评价方案的聚类系数矩阵。按式(2)求取单位聚类系数,结果见表 4。

表 4 7 个研制方案的单位聚类系数

Tab.4 Clustering coefficient of seven developing plan

方案	程度 1	程度 2	程度 3	MAX	聚类结果
1	0.550 6	0.449 4	0.000 0	0.550 6	1
2	0.107 5	0.892 5	0.000 0	0.892 5	2
3	0.490 4	0.000 0	0.509 6	0.509 6	3
4	0.718 1	0.281 9	0.000 0	0.718 1	1
5	0.487 2	0.512 8	0.000 0	0.512 8	2
6	0.280 6	0.375 1	0.344 3	0.375 1	2
7	0.000 0	0.321 3	0.678 7	0.678 7	3

由表 4 可知在 7 个研制方案中,方案 1、方案 4 属“好”,方案 2、方案 5、方案 6 属“较好”,方案 3、方案 7 属“差”。

3.4 研制方案的综合排序

在得到研制方案的等级后,由式(3)计算同一等级灰类下方案的综合决策测度 ω_i 并进行比较,可得方案的最终排序。

以评价等级为“好”的 2 个方案为例,第 1 灰类的调整系数 $\eta_1 = (3, 2, 1)$, $\omega_i = \eta_1 \delta_i^k = 3\delta_i^1 + 2\delta_i^2 + \delta_i^3$, $i = 1, 4$ 。

各方案计算结果分别为:方案 1 为 2.550 6,方案 4 为 2.718 1。同理可得评价等级为“较好”的 3 个方案的综合决策测度分别为:方案 2 为 2.892 5,

方案5为2.5128,方案6为2.3748。评价等级为“差”的2个方案的综合决策测度分别为:方案3为2.0192,方案7为2.6787。

通过比较综合测度可得防空反导导弹战斗部研制方案的最终排序(由优到劣)为:方案4>方案1>方案2>方案5>方案6>方案7>方案3。

对于这样的排序结果,无论从理论分析或者是与其它方法比较都是合理而可信的。

4 结语

本文在对典型方案评价方法分析的基础上,建立了基于灰色聚类决策的研制方案的综合评价模型。经实例验证,利用灰色聚类决策模型进行研制方案的评价,减少了人为因素的作用,所选方法思路清晰、简单易用,能有效解决方案优选中“小样本”、“贫信息”等不确定性问题,适用于防空反导导弹战斗部研制方案的评价决策,是一种综合评价防空反导导弹战斗部研制方案的新方法。

参考文献(References):

- [1] 姜科. 防空反导导弹战斗部研制方案评价模型研究[D].西安:空军工程大学,2011.
JIANG Ke. Research on the evaluation model of developing plan for air and missile defense warhead [D]. Xi'an: Air force engineering university, 2011. (in Chinese)
- [2] 徐学华,徐翔.弹药系统工程基础[M].北京:兵器工业出版社,2006.
XU Xuehua, XU Xiang. Ammunition systems engineering foundation [M]. Beijing: Weapons industry press, 2006. (in Chinese)
- [3] GU Xiaohui, CAO Bing. The synthetic evaluation of warhead overall efficiency [J]. Journal of systems engineering and electronics, 2003, 14(1): 12-17.
- [4] 杨萍,毕义明.常规战斗部作战效能综合评定模型和方法[J].火力与指挥控制, 2007, 32(12): 69-72.
YANG Ping, BI Yiming. Research on comprehensive evaluation models and methods of operational effectiveness of conventional war head [J]. Fire control and command control, 2007, 32(12): 69-72. (in Chinese)
- [5] 顾晓辉,王晓鸣,赵有守.灰色系统的弹箭系统研制费用估计模型的研究[J].南京理工大学学报, 2001, 25(2): 117-120.
GU Xiaohui, WANG Xiaoming, ZHAO Youshou. Research on estimation model of ammunition and rocket system development cost based on the grey system [J]. Journal of Nanjing university of science and technology, 2001, 25(2): 117-120. (in Chinese)
- [6] Jiang Ke, Liu Tao, Zhang Lin, et al. Research of the optimal estimation model of the equipment development cost engineering method [C] // Proc of international conference on engineering and business management. New York: Scientific research publishing house, 2010: 2062-2064.
- [7] 晁殿雷,韩晓明,张帆.导弹武器系统研制阶段风险评估模型[J].火力与指挥控制, 2010, 35(3): 61-64.
CHAO Dianlei, HAN Xiaoming, ZHANG Fan. Research on the risk assessment model of missile weapon system development phase [J]. Fire control and command control, 2010, 35(3): 61-64. (in Chinese)
- [8] Frank M V. Choosing among safety improvement strategies a discussion with example of risk assessment and multi-criteria decision approaches for NASA [J]. Reliability engineering and system, 1995, 49: 311-324.
- [9] 申卯兴,许进,王帅.空中目标威胁排序的灰色聚类决策方法[J].系统工程与电子技术, 2008, 30(9): 1721-1723.
SHEN Maoxing, XU Jin, WANG Shuai. Grey cluster decision making way for the threat ordering of aerial targets [J]. Systems engineering and electronics, 2008, 30(9): 1721-1723. (in Chinese)
- [10] 刘思峰,谢乃明.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,2008.
LIU Sifeng, XIE Naiming. Grey system theory and application [M]. Beijing: Science press, 2008. (in Chinese)
- [11] 顾晓辉,王晓鸣,赵有守.灰色层次评估法在智能雷战斗部总体效能评估中的应用[J].军事运筹与系统工程, 2002(2): 51-55.
GU Xiaohui, WANG Xiaoming, ZHAO Youshou. Grey hierarchy evaluation method on the application of overall effectiveness evaluation of intelligent ray warhead [J]. Military operations research and systems engineering, 2002(2): 51-55. (in Chinese)

(编辑:田新华)