

# 基于 ISM 和 GAHP 的武器系统选型评价方法

郝坤鹏<sup>1,2</sup>, 杨国来<sup>1</sup>, 张磊<sup>2</sup>, 葛建立<sup>1</sup>

(1.南京理工大学 机械工程学院, 江苏 南京 210094; 2.西安昆仑工业(集团)有限责任公司, 陕西 西安 710043)

**摘 要:**系统选型评价是武器装备综合论证、方案设计的重点工作内容和亟待解决的关键问题,对武器装备实现功能需求、层次管理和优化决策具有重大意义。针对武器系统选型评价需求,设计了基于解释结构模型(ISM)和灰度层次分析法(GAHP)的武器系统选型评价方法,通过构建系统结构有向图,定性描述了武器系统结构和性能的层次关系,通过确定系统元素间影响权重及其灰色评估向量,定量表征了设计方案的综合评价值;结合评价方法的实施步骤,给出了数学模型,并以某机载武器系统为例,对3种方案进行了择优,同时给出了理论依据;基于ISM和GAHP的武器系统选型评价方法,解决了武器系统从定性需求到定量决策的问题,对武器系统选型评价具有指导意义。

**关 键 词:**武器系统;解释结构模型;灰度层次分析法;可靠性;选型方法  
**中图分类号:**TJ392; TJ301      **文献标志码:**A      **文章编号:**1000-2758(2022)04-0926-09

武器装备研制是一项庞大、复杂的系统工程,涉及诸多学科领域,包含有分系统和设备,其系统结构、指标体系层次复杂,综合评估难度大。同时,在武器装备论证初期,许多指标可能还处于定性描述阶段,量化程度低,这就给多方案择优带来较大困难。为提高方案择优的精准性,有必要应用系统工程理论和方法,对武器系统组成要素之间的关系进行分析,构造系统树状结构图,寻找底层基础要素,对暂时无法量化的指标,利用专家系统,按指标重要性和方案先进性,依据经验进行定量评价,最终确定武器装备综合性能定量评价值,从而找出最优方案,给武器系统论证、选型提供依据。本文提出ISM和GAHP的评价方法,利用ISM构造系统层次结构,利用GAHP进行定量评价,系统地解决了这一问题。

## 1 基于 ISM 和 GAHP 的武器选型评价方法建模

### 1.1 解释结构模型 ISM

1973 年,为了分析更复杂的社会经济体系问

题,美国 J·华费尔教授研究了一种新型方法,称之为解释结构模型(interpretative structural modeling, ISM)。该方法以人类的实践经验和工程理论知识为基础,充分利用计算机辅助设计软件,将复杂的系统进行逐层分解,形成由若干个子系统(要素)构成的多级递推的结构模型,并据此分析各系统构成要素间的相互联系的程度<sup>[1]</sup>。已有一些文献对此方法在多个领域的应用进行了研究<sup>[2-5]</sup>。

### 1.2 灰度层次分析法 GAHP

灰度层次分析法(grey analytic hierarchy process, GAHP)是一种量化定性指标的方法,用来反映评价指标的层次结构和每个组件之间的内在联系。运用灰色聚类分析方法,充分挖掘和使用少量的已知信息,尽可能构造完善的数学模型。计算不同聚类指标的白化数,然后对几个灰度级进行综合、归纳,确定所属的聚类,最后得出系统的综合评价<sup>[6]</sup>。关于 GAHP 的应用,已有一些相关研究<sup>[7-16]</sup>。

### 1.3 武器选型评价方法建模

基于 ISM 和 GAHP 的武器选型评价方法主要适用武器系统方案论证初期,是一种定性与定量相结合的方案评价与选择的方法。主要思路是:应用

ISM 思想,采用头脑风暴与专家评估,确定系统的功能结构与指标层次关系;在此基础上,应用 GAHP 思想,通过专家组对比决策,获得各指标的评价权重,以及各方案的评分,最后获得各方案的综合评分,从而选出最优方案。

基于 ISM 和 GAHP 的武器系统选型评价方法实现流程如下:

1) 选择系统要素  $S$

根据系统概念设计和初步方案设想,经专家分析和讨论,确定功能要求和技术途径,形成系统要素集  $S$ 。

$$S = \{S_i \mid i = 1, 2, \dots, n\} \tag{1}$$

式中:  $S_i$  为  $i$  个系统要素。

2) 建立邻接矩阵  $A$

邻接矩阵  $A$  (adjacency matrix) 表达系统要素之间的相互作用关系,经专家组研讨确定。

$$A = [a_{ij}]_{n \times n} \tag{2}$$

式中:  $a_{ij} = \begin{cases} 1, & S_i \text{ 与 } S_j \text{ 有直接关系} \\ 0, & S_i \text{ 与 } S_j \text{ 无直接关系} \end{cases}$

3) 建立可达矩阵  $R$

可达矩阵  $R$  (reachability matrix) 表达系统要素之间是否可以到达的状态。

$$R = [r_{ij}]_{n \times n} \tag{3}$$

式中:  $r_{ij} = \begin{cases} 1, & S_i \rightarrow S_j \text{ 可达} \\ 0, & S_i \rightarrow S_j \text{ 非可达} \end{cases}$

$R$  可以通过  $A$  加上单位矩阵  $I$ ,按照布尔运算法则得到。

定义  $A_{r-1} = (A + I)^{r-1}$ ,若存在

$$A_1 \neq A_2 \neq \dots \neq A_{r-1} = A_r, r \leq n - 1, \text{ 则} \\ R = A_{r-1} = A_r \tag{4}$$

4) 可达矩阵分级

对于要素  $S_i$ ,  $R$  中对应于  $S_i$  的行中,所有要素为 1 的列所对应的要素  $S_j$  构成  $S_i$  的可达集  $R(S_i)$ ;  $R$  中对应于  $S_i$  的列中,所有要素为 1 的行所对应的要素  $S_j$  组成  $S_i$  的前因集  $A(S_i)$ 。若

$$R(S_i) = R(S_i) \cap A(S_i) \tag{5}$$

则  $S_i$  为本级中最高级要素,组成集合  $L_1$ 。将  $L_1$  中的要素从系统要素集中删除,再从余下的要素集中寻找次一级最高要素,直至把所有要素全部完成化级,逐级形成集合  $L_2, L_3, \dots, L_k$ ,则级划分

$$\Pi_L(S) = \{L_1, L_2, \dots, L_k\} \tag{6}$$

依据  $\Pi_L(S)$  要素顺序,对可达矩阵  $R$  进行变换,形成新可达矩阵  $R'$

$$R' = \begin{matrix} & L_1 & L_2 & \dots & L_k \\ \begin{matrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_k \end{matrix} & \begin{bmatrix} N_{11} & 0 & \dots & 0 \\ N_{12} & N_{22} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ N_{k1} & N_{k2} & \dots & N_{kk} \end{bmatrix} \end{matrix} \tag{7}$$

5) 构建缩减可达矩阵  $R''$

进一步分析可达矩阵  $R'$ ,若对角子阵  $N_{kk}$  为单位矩阵,表明其无回路;若对角子阵  $N_{kk}$  为满阵,表明其存在回路,在回路中选择一个代表要素,去掉其余要素,获得缩减可达矩阵  $R''$ 。

6) 构建系统层次结构模型

缩减可达矩阵  $R''$  中  $N'_{i+1,i}$  子阵表明了下一级要素至上级的可达情况,凡存在  $r_{ij} = 1$ ,则表示下一级要素  $s_i$  至上一级要素  $s_j$  之间可达,在层次模型图中用有向线段标明两者关系。 $N'_{i+2,i}, \dots, N'_{i+l-1,i}$  子阵表明了跨级间的联系,若有临级间的联系,则不必再标出该有向线段。

当所有的子阵处理完毕后,即可获得武器系统层次结构模型,底层元素为武器系统的评估指标集合  $C$

$$C = \{c_i \mid i = 1, 2, \dots, m\} \tag{8}$$

式中:  $c_i$  为第  $i$  个评估指标。

7) 确定指标的权系数向量  $\lambda$ <sup>[17]</sup>

专家组对待评估目标  $m$  变量按其相对重要性两两相互比较打分,构建判断矩阵  $B$

$$B = [b_{ij}]_{m \times m} \tag{9}$$

式中:  $b_{ij} = \begin{cases} 1, & S_i \text{ 与 } S_j \text{ 同等重要} \\ 2, & S_i \text{ 比 } S_j \text{ 重要一点} \\ 3, & S_i \text{ 比 } S_j \text{ 重要} \\ 4, & S_i \text{ 比 } S_j \text{ 重要很多} \\ 5, & S_i \text{ 比 } S_j \text{ 极端重要} \end{cases}$

由  $B$  的特性可知,必然  $b_{ji} = \frac{1}{b_{ij}}$ 。

根据判断矩阵  $B$ ,求解权系数向量  $\lambda$

$$\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m]^T \tag{10}$$

式中

$$\lambda_i = \frac{\varepsilon_i}{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i}, \quad \varepsilon_i = \sum_{j=1}^n b'_{ij}, b'_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}}$$

获得权系数向量  $\lambda$  后,需进行一致性判断。其中  $\lambda_{\max}$  表示判断矩阵的最大特征值,  $C_R$  表示一致性指标。分别对其进行计算

$$C_R = \frac{C_1}{R_1} \tag{11}$$

式中:  $C_1 = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \lambda_{\max} = \sum_{i=1}^m \frac{(B \cdot A)}{n\lambda_i}$

$R_1$  为平稳随机一致性指标<sup>[18]</sup>。  
若  $C_R$  远远小于 0.1, 则认为其一致性符合需求, 此矩阵具有较好的一致性, 得到的权系数值满足要求, 否则, 需对  $B$  进行必要调整。

8) 计算指标评估值矩阵  $D$   
获得指标权系数向量  $A$  后, 对待评的  $p$  个方案, 组织  $q$  名专家组按指标集  $C$  中各指标要素逐一对待评方案先进性进行打分, 最低 0 分, 最高 9 分, 获得指标评估矩阵  $D$

$$D^{(C)} = [d_{ij}^{(C)}]_{p \times q} \tag{12}$$

式中:  $d_{ij}^{(C)}$  表示评估专家  $j$  对受评方案  $i$  关于指标  $C$  给出的评估值。

9) 确定评估灰度  $f$   
某受评指标  $c$  的评估灰度  $f$  主要包含灰度等级数、灰度的灰数、灰度的白化权函数。常用的白化权函数有下述 3 种<sup>[19-20]</sup>。

(1) 第一级“高”( $e = 1$ ), 灰数  $1 \oplus \in [d_1, \infty]$ , 白化函数为:

$$f_1(d_{ij}^{(c)}) = \begin{cases} \frac{d_{ij}^{(c)}}{d_1}, & d_{ij}^{(c)} \in [0, d_1] \\ 1, & d_{ij}^{(c)} \in [d_1, \infty] \end{cases} \tag{13}$$

(2) 第二级“中”( $e = 2$ ), 灰数  $2 \oplus \in [0, 2d_2]$ , 白化函数为

$$f_2(d_{ij}^{(c)}) = \begin{cases} \frac{d_{ij}^{(c)}}{d_2}, & d_{ij}^{(c)} \in [0, d_2] \\ 2 - \frac{d_{ij}^{(c)}}{d_2}, & d_{ij}^{(c)} \in [d_2, 2d_2] \end{cases} \tag{14}$$

(3) 第三级“低”( $e = 3$ ), 灰数  $3 \oplus \in [0, d_4]$ , 白化函数为

$$f_3(d_{ij}^{(c)}) = \begin{cases} 1, & d_{ij}^{(c)} \in [0, d_3] \\ 2 - \frac{d_4 - d_{ij}^{(c)}}{d_4 - d_3}, & d_{ij}^{(c)} \in [d_3, d_4] \end{cases} \tag{15}$$

10) 计算灰度矩阵  $X$  及灰度系数矩阵  $T$   
对某受评指标, 应用  $e$  个灰度白化函数  $f$ , 以及指标评估矩阵  $D$ , 计算其灰色矩阵  $X^{(c)}$

$$X^{(c)} = [x_{ij}]_{p \times e} \tag{16}$$

式中:  $x_{ij}^{(c)} = \sum_{k=1}^q f_j(d_{ik}^{(c)})$   
指标  $c_i$  的灰度评估系数矩阵  $T^{(c)}$   
$$T^{(c)} = [t_{ij}]_{p \times e} \tag{17}$$

式中:  $t_{ij}^{(c)} = \frac{t_{ij}^{(c)}}{\sum_{j=1}^e t_{ij}^{(c)}}$

11) 计算灰色评估矩阵  $U$   
依据指标灰度评估系数矩阵  $T^{(c)}$ , 按照最大化原则, 可以获得  $m$  个指标的  $p$  个方案的灰色评估矩阵  $U$

$$U = [u_{ij}]_{p \times m} \tag{18}$$

式中:  $u_{ij}$  表示方案  $i$  对指标  $c_i$  的灰色评估值,  $u_{ij} = \max \{t_{i1}^{(j)}, t_{i2}^{(j)}, \dots, t_{ie}^{(j)}\}$

12) 计算综合评价值  $W$   
综合评价值  $W$   
$$W = UA \tag{19}$$

2 某机载武器系统选型评价应用示例

1) 选择系统要素  
根据某机载武器系统论证需求, 成立一个有行业研究经验的论证小组, 根据机载武器系统作战需求以及当前技术发展现状, 采用头脑风暴等方法, 立足作战使用、装备保障、研制可行性等装备全寿命周期的能力需求, 提出了 24 个决策要素, 构建了机载武器系统要素集  $S$ , 见表 1。

表 1 某机载武器系统要素集

| 序号    | 要素     | 序号       | 要素     | 序号       | 要素      |
|-------|--------|----------|--------|----------|---------|
| $S_1$ | 综合效能   | $S_9$    | 威力     | $S_{17}$ | 质量      |
| $S_2$ | 作战能力   | $S_{10}$ | 自校靶能力  | $S_{18}$ | 适航性     |
| $S_3$ | 口径     | $S_{11}$ | 再射击时间  | $S_{19}$ | 技术可行性   |
| $S_4$ | 精度     | $S_{12}$ | 后坐力    | $S_{20}$ | 发展潜力    |
| $S_5$ | 持续作战能力 | $S_{13}$ | 综合保障性  | $S_{21}$ | 可研制性    |
| $S_6$ | 初速     | $S_{14}$ | 备弹量    | $S_{22}$ | 全寿命周期费用 |
| $S_7$ | 立靶精度   | $S_{15}$ | 装机保障能力 | $S_{23}$ | 寿命      |
| $S_8$ | 射速     | $S_{16}$ | 可装机性   | $S_{24}$ | 安全性     |



心能力,由系统要素“作战能力( $S_2$ )、装机保障能力( $S_{15}$ )和可研制性( $S_{21}$ )”构成。能力评价层一般作为项目管理机关关注重点,用于项目方案的综合评价及全寿命管控。

第 3 层为性能评价层,表征了装备战术性能,由系统要素“威力( $S_9$ )、精度( $S_4$ )、持续作战能力( $S_5$ )、可装机性( $S_{16}$ )和适航性( $S_{18}$ )”构成。性能评价层一般作为型号研制总师关注重点,用于装备研制关键参数控制。

第 4 层为技术评价层,表征了装备战术指标,由系统要素“口径( $S_3$ )、初速( $S_6$ )、射速( $S_8$ )、立靶精度( $S_7$ )、自校靶能力( $S_{10}$ )、再射击时间( $S_{11}$ )、备弹量( $S_{14}$ )、寿命( $S_{23}$ )、后坐力( $S_{12}$ )、质量( $S_{17}$ )、综合保障性( $S_{13}$ )、安全性( $S_{24}$ )、技术可行性( $S_{19}$ )、发展潜力( $S_{20}$ )和全寿命周期费用( $S_{22}$ )”构成。技术评价层一般作为装备设计与验收人员关注重点,用于研制过程的技术实现及风险管控。

7) 计算评价指标的权重

对于第一层次“综合效能”的“作战能力、装机保障能力、可研制性”3 个要素,组织专家组建立判断矩阵  $B_1$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

按 (10) 式计算权  $A_1$

$$A_1 = [0.588\ 9, 0.251\ 9, 0.159\ 3]^T$$

按 (11) 式计算判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$  和一致性指标  $C_R$

$$\lambda_{\max} = 3.053\ 9, C_1 = 0.0270, C_R = 0.051\ 8$$

$C_R \leq 0.1$ , 矩阵的一致性满足要求, 权系数值可行。

同理计算第二、第三层指标构成要素的权系数, 不同之处在于, 所得权系数上乘以上一级的权系数, 最终获得对第一层的权系数。

$$A_{21} = [0.252\ 4, 0.252\ 4, 0.084\ 1]^T$$

$$A_{22} = [0.167\ 9, 0.084\ 0]^T$$

$$A_{23} = [0.115\ 2, 0.030\ 8, 0.013\ 3]^T$$

$$A_{311} = [0.018\ 6, 0.071\ 4, 0.162\ 4]^T$$

$$A_{312} = [0.220\ 8, 0.031\ 5]^T$$

$$A_{313} = [0.007\ 4, 0.020\ 5, 0.056\ 3]^T$$

$$A_{321} = [0.146\ 9, 0.021\ 0]^T$$

$$A_{322} = [0.056\ 0, 0.028\ 0]^T$$

根据层次分析, 选择底层要素 3, 6, 8, 7, 10, 11, 14, 23, 12, 17, 13, 24, 19, 20, 22 共 15 个要素进行综合评价, 其权系数  $A$  为

$$A = [A_{311}^T, A_{312}^T, A_{313}^T, A_{321}^T, A_{322}^T, A_{23}^T] = \begin{bmatrix} 0.018\ 6, 0.071\ 4, 0.162\ 4, 0.220\ 8, 0.031\ 5, 0.007\ 4, \\ 0.020\ 5, 0.056\ 3, 0.146\ 9, 0.021\ 0, 0.056\ 0, 0.028\ 0, \\ 0.115\ 2, 0.030\ 8, 0.013\ 3 \end{bmatrix}^T$$

利用权系数  $A$  绘制指标-权重图, 见图 2。

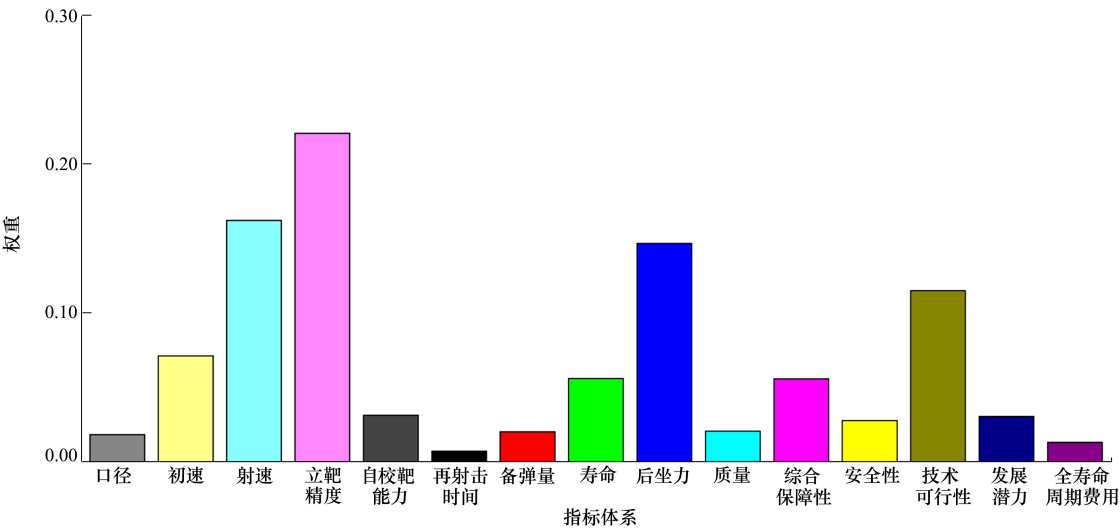


图 2 机载武器系统指标-权重



从图 2 可知,初速 ( $S_6, 0.071\ 4$ )、射速 ( $S_8, 0.162\ 4$ )、立靶精度 ( $S_7, 0.220\ 8$ ) 3 个指标权重较高,对作战能力的贡献主要体现在单位时间内快速(射速)、精准(立靶精度)发射高威力弹药(初速)技术上;后坐力 ( $S_{12}, 0.146\ 9$ ) 权重较高,对装机保障能力的贡献主要体现在降低后坐力对载机的冲击、振动载荷,提高载机与武器的兼容性上;技术可行性 ( $S_{19}, 0.115\ 2$ ) 权重较高,对可研制性贡献体现在装备可实现性上,这几个指标应当被武器装备研制者高度关注,并不断迭代提升。

8) 计算指标评估矩阵  $D$

组织专家组按指标  $S$  逐一对待评方案先进性进行打分获得指标评估矩阵  $D$ ,其中

$$D^{(3)} = \begin{bmatrix} 6 & 7 & 6 & 6 & 7 \\ 8 & 8 & 7 & 8 & 8 \\ 6 & 7 & 7 & 6 & 7 \end{bmatrix}$$

以及  $D^{(6)}, D^{(8)}, D^{(7)}, D^{(10)}, D^{(11)}, D^{(14)}, D^{(23)}, D^{(12)}, D^{(17)}, D^{(13)}, D^{(24)}, D^{(19)}, D^{(20)}, D^{(22)}$ 。

9) 确定评估灰度  $f$

根据系统特点,选择 4 级灰度(“中”选择 2 级),第一级“高”( $e = 1$ ),  $d_1 = 9$ ,灰数  $1 \oplus \in [9, \infty]$ ;第二级“中”( $e = 2$ ),  $d_2 = 8$ ,灰数  $2 \oplus \in [0, 16]$ ;第三

级“中”( $e = 3$ ),  $d_3 = 6$ ,灰数  $3 \oplus \in [0, 12]$ ;第四级“差”( $e = 4$ ),  $d_4 = 1, d_5 = 5$  灰数  $4 \oplus \in [0, 5]$ 。

10) 计算灰度矩阵  $X$  及灰度系数矩阵  $T$

对受评指标“口径”,应用灰度白化函数  $f$ ,以及评估指标矩阵  $D^{(3)}$ ,按 (16) ~ (17) 式计算其灰色矩阵  $X^{(3)}$ 、灰度评估系数矩阵  $T^{(3)}$

$$X^{(3)} = \begin{bmatrix} 3.555\ 6 & 4.000\ 0 & 4.666\ 7 & 0.000\ 0 \\ 4.333\ 3 & 4.875\ 0 & 3.500\ 0 & 0.000\ 0 \\ 3.666\ 7 & 4.125\ 0 & 4.500\ 0 & 0.000\ 0 \end{bmatrix}$$
$$T^{(3)} = \begin{bmatrix} 0.290\ 9 & 0.327\ 3 & 0.381\ 8 & 0.000\ 0 \\ 0.341\ 0 & 0.383\ 6 & 0.275\ 4 & 0.000\ 0 \\ 0.298\ 3 & 0.335\ 6 & 0.366\ 1 & 0.000\ 0 \end{bmatrix}$$

同理,可计算其他指标灰度矩阵  $X$  及灰度系数矩阵  $T$ 。

11) 计算灰色评估矩阵  $U$

依据指标灰度评估系数矩阵  $T^{(4)}$ ,按 (18) 式计算灰色评估矩阵  $U$  为

$$U = \begin{bmatrix} 0.381\ 8 & 0.360\ 0 & 0.381\ 8 & \cdots & 0.371\ 2 \\ 0.383\ 6 & 0.375\ 8 & 0.350\ 6 & \cdots & 0.387\ 0 \\ 0.366\ 1 & 0.421\ 1 & 0.405\ 5 & \cdots & 0.381\ 8 \end{bmatrix}_{3 \times 15}$$

利用灰色评估矩阵  $U$  绘制指标-灰度评估值图,见图 3。

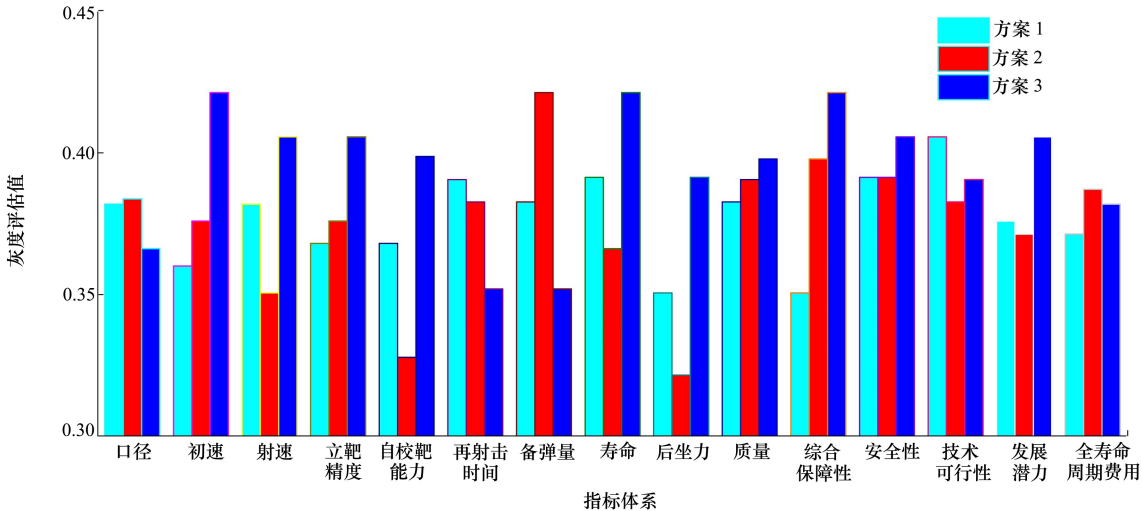


图 3 机载武器系统指标-灰度评估值

12) 综合评价  $W$

按 (19) 式计算综合评价  $W$

$$W = UA = [0.373\ 8 \quad 0.365\ 6 \quad 0.401\ 7]^T$$

结果可知,方案 3 比方案 1、方案 2 更加优异。

从图 3 可知,在不计及指标权重的情况下,方案

3 初速 ( $S_6$ )、射速 ( $S_8$ )、立靶精度 ( $S_7$ )、后坐力 ( $S_{12}$ ) 等核心指标的灰度评估值明显优于方案 1 和方案 2,抓住了武器研制的核心指标;同时自校靶能力 ( $S_{10}$ )、寿命 ( $S_{23}$ )、重量 ( $S_{17}$ )、综合保障性 ( $S_{13}$ )、安全性 ( $S_{24}$ ) 以及发展潜力 ( $S_{20}$ ) 也优方案 1 和方案 2,其对指标的平衡性也是予以重点关注。从综合评

价值看,计及指标权重的情况下,方案3之所以获胜,一是紧紧把握了关系武器系统成败的关键指标予以突破;二是同步全面、均衡发展其他技术指标,确保综合性能不仅局部最优,而且全域最优的设计思想。

### 3 结 论

基于ISM和GAHP的武器系统选型评价方法解决了武器装备论证初期系统方案择优的问题,可提高武器装备论证的水平。特点如下:

1) 利用ISM方法,将复杂系统的多要素的关系

进行结构化、层次化梳理,层次结构图表征了参量之间的相互影响关系,揭示了构成武器系统的最底层要素;

2) 利用GAHP方法,定量描述了影响上一级要素,以及最上一级要素的要素之间的重要程度,给装备研制全寿命周期过程控制、资源投入、性能验证等工作指明了方向;

3) ISM和GAHP方法将定性描述转化为定量描述过程中,引入多人专家组的打分系统,并对偏离中心的差异性得分进行了加权处理,避免了专家个人的主观偏离对评价结果公正性的影响。

### 参考文献:

- [1] 宋贵宝,周文松,邹强. 武器系统工程[M]. 北京:国防工业出版社,2009:72-80  
SONG Guibao, ZHOU Wensong, ZOU Qiang. Weapon system engineering[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2009: 72-80 (in Chinese)
- [2] 黄胜,郭海鹏,王超. ISM在航空母舰评估指标体系构建中的应用[J]. 中国舰船研究,2014,9(1):1-7  
HUANG Sheng, GUO Haipeng, WANG Chao. Application of ISM on the construction of aircraft carrier evaluation index systems[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2014, 9(1): 1-7 (in Chinese)
- [3] 李历. 基于ISM的装甲车辆全寿命周期风险分析模型[J]. 四川兵工学报,2014,35(6):52-56  
LI Li. Life cycle risk analysis model of armored vehicles based on ISM[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2014, 35(6): 52-56 (in Chinese)
- [4] 王磊,戴建兵. 城市低保标准变动与人类发展水平的适应性研究——基于解释结构模型(ISM)[J]. 电子科技大学学报,2022,24(1):74-81  
WANG Lei, DAI Jianbing. Research on the adaptation of urban minimum living standards and human development level: based on interpretative structural modeling (ISM)[J]. Journal of UESTC, 2022, 24(1): 74-81 (in Chinese)
- [5] 陈赞,刘湘慧,陈玉斌. 基于决策实验室分析法及解释结构模型的交通隧道施工事故致因链构建[J]. 科学技术与工程,2021,21(35):15222-15229  
CHEN Yun, LIU Xianghui, CHEN Yubin. Construction of the cause chain of traffic tunnel construction accidents based on dematel-ISM[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(35): 15222-15229 (in Chinese)
- [6] 邓聚龙. 灰色系统理论[M]. 武汉:华中理工大学出版社,2001:90-99  
DENG Julong. Grey system theory[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2001: 90-99 (in Chinese)
- [7] 刘思峰,郭天榜,党耀国. 灰色系统理论及应用[M]. 北京:科学出版社,2000:87-92  
LIU Sifeng, GUO Tianbang, DANG Yaoguo. Grey system theory and application[M]. Beijing: Science Press, 2000: 87-92 (in Chinese)
- [8] 潘寒尽,张多林,王宏. 灰色层次理论在防空导弹武器系统效能评估中的应用[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术,2004,24(5):77-87  
PAN Hanjin, ZHANG Duolin, WANG Hong. Application of grey hierarchical theory in effective evaluation for anti-air missile weapon system[J]. Information Command Control System & Simulation Technology, 2004, 24(5): 77-87 (in Chinese)
- [9] 杨继峰,刘勇志,李淑媛. 基于灰色层次的潜射导弹武器系统效能评估[J]. 舰船电子工程,2013,33(3):83-85  
YANG Jifeng, LIU Yongzhi, LI Shuyuan. Efficiency evaluation of submarine-launched missile weapon systems based on grey hierarchy analytic method[J]. Ship Electronic Engineering, 2013, 33(3): 83-85 (in Chinese)

- [10] 张明霞, 边锋. 灰色层次分析法在舰船中水回用方案优选中的应用[J]. 中国舰船研究, 2021, 16(2): 57-63  
ZHANG Mingxia, BIAN Feng. Application of grey analytic hierarchy process in water reuse optimization of warship[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2021, 16(2): 57-63 (in Chinese)
- [11] 刘忆冰, 王凯, 蒲玮. 基于灰色层次分析法的装甲合成营装备体系作战效能评估[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(10): 96-99  
LIU Yibing, WANG Kai, PU Wei. Operational effectiveness evaluation with armored synthesis battalion equipment system based on grey analytic hierarchy process[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2018, 39(10): 96-99 (in Chinese)
- [12] 张宏斌, 鞠艳秋, 齐驰, 等. 基于改进 AHP 的多传感器协同探测效能评估方法[J]. 火力与指挥控制, 2021, 46(5): 108-112  
ZHANG Hongbin, JU Yanqiu, QI Chi, et al. Evaluation method of sensors coordination detection efficiency based on modified AHP[J]. Fire Control & Command Control, 2021, 46(5): 108-112 (in Chinese)
- [13] 王刚, 严振华, 施端阳, 等. 基于模糊层次分析法的区域防空目标威胁等级研究[J]. 舰船电子对抗, 2021, 44(2): 45-47  
WANG Gang, YAN Zhenhua, SHI Duanyang, et al. Study of threat level of regional air defense target based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2021, 44(2): 45-47 (in Chinese)
- [14] 王芙蓉, 徐志弘. 一种基于层次分析法的红外多目标威胁等级评估方法研究[J]. 舰船电子工程, 2021, 319(1): 150-153  
WANG Furong, XU Zhihong. Research on threat level assessment method for infrared multi-target based on AHP[J]. Ship Electronic Engineering, 2021, 319(1): 150-153 (in Chinese)
- [15] 冯宝, 高雪, 龚亮亮. 电力无线通信系统中基于灰度关联层次分析的异构网络选择算法[J]. 电子设计工程, 2018, 26(10): 35-40  
FENG Bao, GAO Xue, GONG Liangliang. A heterogeneous network selection algorithm based on grey relation hierarchy analysis in power wireless communication system[J]. Electronic Design Engineering, 2018, 26(10): 35-40 (in Chinese)
- [16] 马蕾, 胡晨光, 张婷. 内容中心网络中基于 AHP 和 GRA 的路由策略[J]. 西南大学学报, 2019, 41(10): 125-132  
MA Lei, HU Chenguang, ZHANG Ting. Routing strategy in content-centric networking based on AHP and GRA[J]. Journal of Southwest University, 2019, 41(10): 125-132 (in Chinese)
- [17] 孟庆德, 徐鲁威, 张俊. 一种基于层次分析法的舰炮系统选型综合评价模型[J]. 指挥控制与仿真, 2013, 35(5): 60-62  
MENG Qingde, XU Luwei, ZHANG Jun. A type selection comprehensive evaluation model of shipboard gun weapon system based on AHP[J]. Command Control & Simulation, 2013, 35(5): 60-62 (in Chinese)
- [18] 唐崇禄. 国防系统分析方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 531-545  
TANG Chonglu. Defense system analysis method[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003: 531-545 (in Chinese)
- [19] 吕艳辉, 赵林. 武器系统效能评估方法研究[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2005, 24(4): 605-607  
LYU Yanhui, ZHAO Lin. Study on effectiveness evaluation methods of weapon systems[J]. Journal of Liaoning Technical University, 2005, 24(4): 605-607 (in Chinese)
- [20] 马琳, 宋贵宝, 罗云宝. 导弹武器系统效能评估的 GAHP 模型[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 101-104  
MA Lin, SONG Guibao, LUO Yunbao. GAHP model of effectiveness evaluation of missile weapon system[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(2): 101-104 (in Chinese)



## Study on model selection and evaluation method of weapon system based on ISM and GAHP

HAO Kunpeng<sup>1,2</sup>, YANG Guolai<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>2</sup>, GE Jianli<sup>1</sup>

(1.School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;  
2.Xi'an Kunlun Industry Group Co.,Ltd, Xi'an 710043, China)

**Abstract:** Model selection & evaluation is the key focus and urgent problems to solve in comprehensive argumentation and conceptual design of weapon system, and has great significance for the weapon system to realize function demand, hierarchy management, and decision optimization. Aimed at model selection & evaluation of weapon system, the model selection & evaluation method based on interpretation structure model (ISM) and gray analytic hierarchy process (GAHP) is designed, hierarchical relationship between structure and performance of weapon system is qualitatively described through setting up directed-graph of system structure, and overall evaluation value of design plan is quantitatively represented by determining influence weight between the elements of system and the gray evaluation vector. Combined with evaluation execution procedure, the mathematical model is given, and taking an airborne weapon system as example, Matlab program is compiled, the best plan among the three is selected, and the theoretical basis is provided. Model selection evaluation method of weapon system based on ISM & GAHP has solved the problem from qualitative demand to quantitative decision-making, and with guiding significance for the model selection evaluation of weapon system.

**Keywords:** weapon system; interpretative structural modeling; grey analytic hierarchy process; reliability; type selection method

**引用格式:**郝坤鹏, 杨国来, 张磊, 等. 基于 ISM 和 GAHP 的武器系统选型评价方法[J]. 西北工业大学学报, 2022, 40(4): 926-934

HAO Kunpeng, YANG Guolai, ZHANG Lei, et al. Study on model selection and evaluation method of weapon system based on ISM and GAHP[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2022, 40(4): 926-934 (in Chinese)