

# 装备体系贡献率评估方法探究

吴雄清, 杨 勇, 周 炎, 周 阳, 王海滨

(北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)

**摘要:** 未来装备必须坚持体系化发展, 并通过贡献率评估明确在体系中的地位和作用。明确了装备体系贡献率的定义和评估意义, 分析了定性评估法、基础技战术指标比较法、综合技战术指标灰靶比较法、基于装备体系的网络层次分析法、基于体系仿真及效能评估法等装备贡献率评估方法, 并给出了灰靶比较法、网络层次分析法具体评估实例。同时, 结合各评估方法特点, 提出了网络层次分析法、体系仿真及效能评估法相结合的改进综合评估方法流程, 实现装备体系贡献率的准确评估。

**关键词:** 贡献率; 体系; 灰靶; 体系仿真与效能评估; 网络层次分析

中图分类号: E917

文献标识码: A

文章编号: 2096-4080 (2021) 03-0021-07

## Research of Evaluation Method for Equipment Contribution Rate to System of Systems

WU Xiongqing, YANG Yong, ZHOU Yan, ZHOU Yang, WANG Haibin

(Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing 100076, China)

**Abstract:** Future military equipments should persist in systematization development and be confirmed its role and effect in the system of systems (SOS) through evaluation of contribution rate. This work clearly clarifies the concept of equipment contribution rate to SOS and evaluation significance. Several evaluation ways of equipment contribution rate to SOS are thoroughly compared, such as qualitative evaluation, comparison of basic technical and tactical index, grey target comparison of technical and tactical index, analysis of network process (ANP) based on equipment SOS structure, evaluation based on SOS simulation and efficiency estimation. Finally, this work presents the estimation instances of grey target comparison and ANP. Considering the characteristic of all methods, this work present an improved method of synthesis evaluation which synthesizes ANP, simulation and efficiency estimation. This method can realize accurate evaluation of equipment contribution rate to SOS.

**Key words:** Contribution rate; SOS; Grey target; SOS simulation and efficiency estimation; ANP

### 0 引言

在我国军事装备坚持“信息主导、体系建设、自主创新、持续发展”的体系化发展背景下, 必须将未来发展或改进的装备放在体系的环境中,

开展装备贡献率的研究和评估, 在整个装备体系中准确找到定位, 切实将装备研制、改进同体系使命、任务需求紧密结合。本文明确了装备体系贡献率的定义和评估意义, 总结了多种定性及定量的装备体系贡献率评估方法, 并给出了评估实

收稿日期: 2020-12-05; 修订日期: 2021-02-01

基金项目: 航天系统部项目 (305010509)

作者简介: 吴雄清 (1981-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为装备体系设计。E-mail: waushingking@163.com

例,为后续装备体系论证、装备研制或改进中装备体系贡献率评估提供有益借鉴。

## 1 贡献率概念及意义

装备贡献率概念<sup>[1]</sup>定义为:在特定使命和体系下,装备在加入体系或替换体系中原有装备后,对体系完成使命任务的贡献程度。

装备体系贡献率可表示为

$$U = (E_1 - E_0) / E_0 \quad (1)$$

式中, $E_0$ 为参考的基准体系能力度量值, $E_1$ 为新装备加入后被评体系能力度量值。

装备体系贡献率研究有以下重要意义:

1) 为新装备论证、研制及装备升级改造提供依据。在装备论证阶段,对装备进行贡献率综合评估,明确装备在体系中定位及必要性;

2) 为装备体系规划提供依据。以装备体系化发展为指导,通过装备体系贡献率研究,明确体系中紧缺要素、装备及装备发展优先级,支撑装备体系论证和科学规划;

3) 为装备体系结构优化、演化提供支撑;

4) 推动装备体系、技术体系、研制能力体系协调发展。

## 2 装备体系贡献率评估方法

装备体系贡献率评估,即针对被评估装备体系,明确使命任务、场景,构建相应能力、装备体系,进行装备体系贡献率定性评估或定量评估。

### 2.1 定性评估方法

定性评估方法可按体系使命-任务-能力-装备体系的层次分解逐层从以下几个方面论述:

1) 装备可支撑完成的新对抗样式;

2) 装备具备的任务能力,以及填补的任务、能力、装备体系要素空白等;

3) 在体系中,本装备对其他装备、任务的支撑能力;

4) 可以完成的非对称优势等;

5) 以新理论支撑的新样式下装备发展、新体系领域下装备发展,以及新领域下对于国防基础工业、技术领域的牵引能力等。

### 2.2 定量评估方法

目前,装备体系贡献率定量评估方法主要包括基础技战术指标比较法、综合技战术指标灰靶比较法、基于装备体系层次的网络层次分析法

(ANP)、基于体系仿真及效能评估法等。

#### 2.2.1 基础技战术指标比较法

基础技战术指标比较法是将新装备与在役、在研的国内外同类装备进行关键技战术指标逐项横向比较、计算性能提升百分比,通过关键技战术指标的比较评价新装备与同类型装备间的受关注指标性能,进行一定程度上的定量评估。

#### 2.2.2 综合技战术指标灰靶比较法

综合技战术指标灰靶比较法基于灰靶理论<sup>[1]</sup>,将目标装备与现有国内外同类装备样本作为参考,通过技战术指标体系生成该类装备的标准模式装备,计算装备与标准模式各技战术指标的靶心度,最后根据技战术指标的权重获取装备与标准模式的靶心度,进行目标装备与其他装备之间综合能力比较、近似等效评估装备贡献率。

基于灰靶理论的装备贡献率评估方法和步骤<sup>[2-4]</sup>如下:

(1) 建立装备技战术指标体系,获取权重

建立影响装备能力的所有技战术指标、权重。权重可采用专家综合打分法或基于仿真的灵敏度分析和定量估算。

(2) 获取所有目标装备及参考装备的指标数据

假定装备具有  $n$  个指标,采用  $m$  个同类型装备进行灰靶比较(包含需要进行贡献度评估的目标装备),其指标用  $w_{ij}$  表示

$$w_{ij} = (w_{ij}(1), w_{ij}(2), \dots, w_{ij}(n)),$$

$$w_{ij}(k) \in w_{ij} \Rightarrow k \in K = \{1, 2, \dots, n\},$$

$$i \in \{1, 2, \dots, m\}$$

$$w(k) = (w_1(k), w_2(k), \dots, w_m(k)),$$

$$w_{ij}(k) \in w(k) \Rightarrow i \in I = \{1, 2, \dots, m\} \quad (2)$$

式中, $w(k)$ 称为  $k$  指标模式列,简称  $k$  指标列。

(3) 确定各性能指标的极性,取得标准模式

令  $POL(\max)$ ,  $POL(\min)$ ,  $POL(\text{mem})$  分别表示极大、极小、适中极性值。

当  $POL(w(k)) = POL(\max)$ , 取  $w_0(k) = \max_i w_i(k)$ ,  $w_i(k) \in w(k)$

当  $POL(w(k)) = POL(\min)$ , 取  $w_0(k) = \min_i w_i(k)$ ,  $w_i(k) \in w(k)$

当  $POL(w(k)) = POL(\text{mem})$ , 取  $w_0(k) = \text{avg}_i w_i(k)$ ,  $w_i(k) \in w(k)$

并称序列  $w_0 = (w_0(1), w_0(2), \dots, w_0(n))$  为标准模式。

(4) 进行灰靶变换,计算指标模型序列中的

指标  $k$  的灰关联度

令  $T_r$  为灰靶变换, 得到指标  $k$  的灰关联度  $x(k)$

$$\begin{aligned} x(k) &= (x_1(k), x_2(k), \dots, x_m(k)), \\ (x_{ij}(k) \in x(k) \Rightarrow x_{ij}(k) &= T_r w_{ij}(k) \\ x_0 &= (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)), \\ x_0(k) \in x_0 \Rightarrow x_0(k) &= T_r w_0(k) \end{aligned} \quad (3)$$

$x_0$  称为标准靶心。

式中,  $T_r$  定义如下<sup>[3]</sup>

$$T_r = \begin{cases} T_u, & POL(w_i(k)) = POL(\max), \\ & \text{上限效果测度变换} \\ T_m, & POL(w_i(k)) = POL(\text{med}), \\ & \text{适中效果测度变换} \\ T_l, & POL(w_i(k)) = POL(\min), \\ & \text{下限效果测度变换} \end{cases} \quad (4)$$

一种常见的灰靶变换为

$$T_r w_i(k) = \frac{\min\{w_i(k), w_0(k)\}}{\max\{w_i(k), w_0(k)\}} = x_i(k) \quad (5)$$

此时,  $x_0 = (1, 1, \dots, 1)$ ,  $x_0(k) = 1$

(5) 获得灰关联差异信息空间

灰关联差异信息空间定义为

$$\Delta_{GR} = \{\Delta, \zeta, \Delta_{0i}(\max), \Delta_{0i}(\min)\} \quad (6)$$

式中,  $\Delta = \{\Delta_{0i}(k) \mid i \in I = \{1, 2, \dots, m\},$

$$k \in K = \{1, 2, \dots, n\}\}$$

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)| = |1 - x_i(k)| \quad (7)$$

式中,  $\Delta_{0i}(k)$  为  $x_0(k)$  与  $x_{ij}(k)$  之间的差异信息,  $\zeta = 0.5$

$$\Delta_{0i}(\max) = \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)| \quad (8)$$

$$\Delta_{0i}(\min) = \min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| \quad (9)$$

(6) 计算模式  $i$  对标准模式在指标  $k$  的靶心系数

$$\begin{aligned} \gamma(x_0(k), x_i(k)) &= \frac{\min_i \min_k \Delta_{0i}(k) + \zeta \max_i \max_k \Delta_{0i}(k)}{\Delta_{0i}(k) + \zeta \max_i \max_k \Delta_{0i}(k)} \\ &= \frac{\Delta_{0i}(\min) + 0.5 \Delta_{0i}(\max)}{\Delta_{0i}(k) + 0.5 \Delta_{0i}(\max)} \end{aligned} \quad (10)$$

(7) 考虑技战术指标的权重因素, 加权计算模式  $i$  对标准模式靶心度<sup>[4-5]</sup>

各指标对装备的重要性权重假定为  $f = (f_1, f_2, \dots, f_n)^T$ , 则加权后模式  $i$  对标准模式的靶心度为

$$\gamma(x_0, x_i) = \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) \cdot f_k \quad (11)$$

(8) 各模式靶心度计算、贡献度排序

计算各模式对标准模式的靶心度, 并进行排序, 靶心度越大表示越接近标准模式, 综合效能越强, 等效近似认为装备贡献率越大。

### 2.2.3 基于装备体系的网络层次分析法 (ANP)

装备体系需求描述建立从使命到任务、任务到能力、能力到系统的映射关系, 完整的装备体系层次结构关系如图 1 所示<sup>[1-2]</sup>, 包括自上而下的分解过程和自下而上的聚合过程。

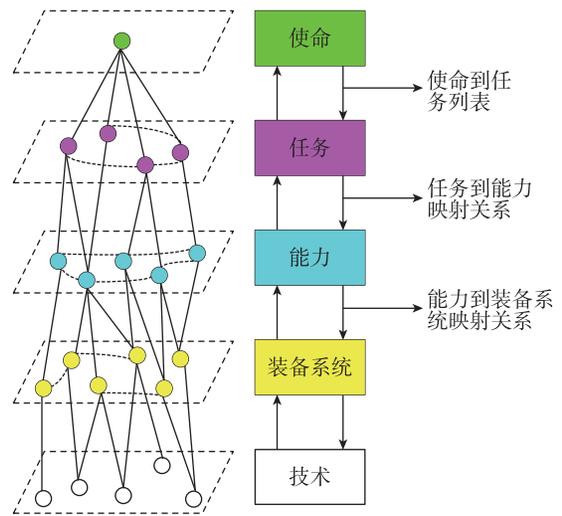


图 1 装备体系层次结构关系

Fig. 1 Equipment SOS architecture

基于使命、任务、能力、装备系统的装备体系网络层次分析法, 通过装备系统到能力、任务、使命的自底向上逐层聚合装备能力、任务、使命的贡献权重, 最终将装备对能力的权重转移为对于使命的全局权重, 从而获得装备对体系的贡献率, 可表示为<sup>[1]</sup>

$$U(Z_m) = \sum_k U(Z_m, C_k) \cdot \left( \sum_i U(C_k, T_i) \cdot U(T_i) \right) \quad (12)$$

式中,  $U(T_i)$  为任务  $T_i$  对体系完成使命的权重;  $U(C_k, T_i)$  为能力  $C_k$  对任务  $T_i$  的权重;  $U(Z_m, C_k)$  为装备  $Z_m$  对能力  $C_k$  的权重;  $U(Z_m, S_j)$  为装备  $Z_m$  对系统  $S_j$  的权重;  $U(Z_m)$  为装备  $Z_m$  对体系的贡献度。

基于使命、任务、能力、装备系统的网络层次分析法的关键是获取各层次要素对上层次要素的综合权重, 按照式 (12) 最终计算出装备体系贡献率。

基于网络层次法的装备体系贡献率评估流程如图 2 所示。

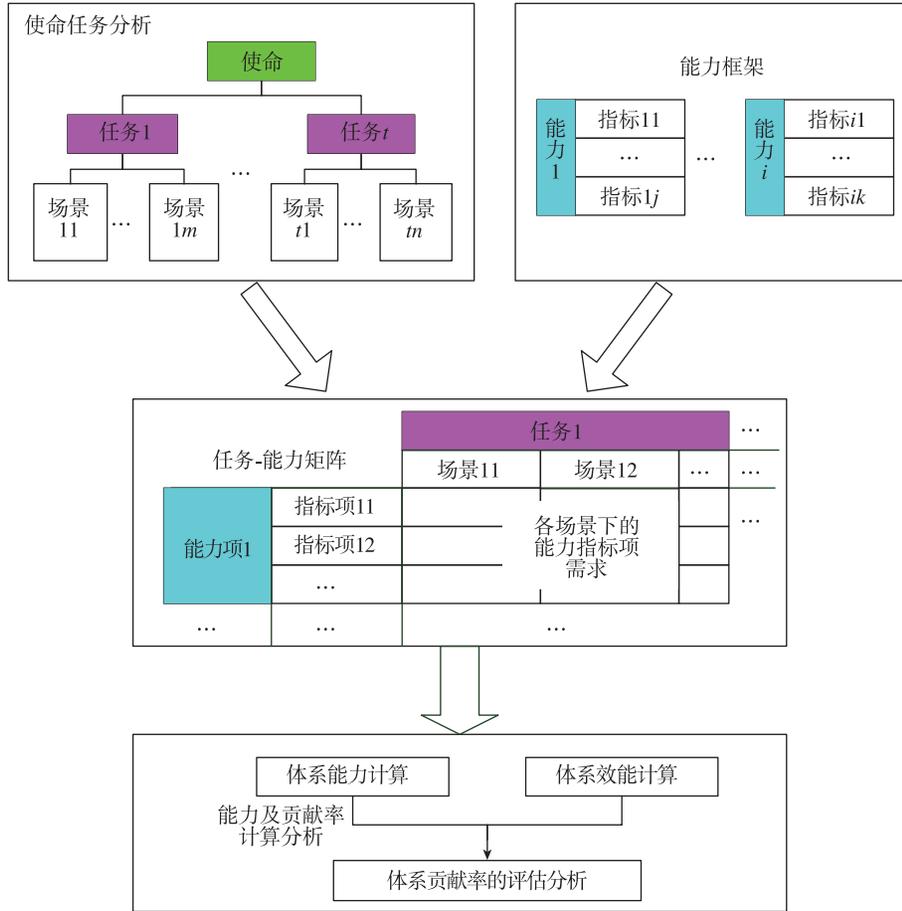


图 2 基于 ANP 的装备体系贡献率评估流程

Fig. 2 ANP evaluation process of equipment contribution rate to SOS

2.2.4 基于体系仿真及效能评估法<sup>[6]</sup>

基于体系仿真及效能评估的贡献率评估方法的基本思想是在整个装备体系运行过程中，由于使用目标装备而使体系效能得到提升，提升的部分即为该装备的体系贡献率。

假定不包含目标装备的体系基线状态下的体系效能为  $E_0$ ，加入目标装备后体系效能评估值为  $E_1$ ，可通过以下两种方法进行目标装备贡献率评估：

1) 通过两次效能评估差值  $\Delta E = E_1 - E_0$  或者  $\Delta E/E_0$ ，粗略等效目标装备对体系效能贡献率；

2) 在体系效能评估过程中解析获得效能评估指标体系中各级指标的统一化加权效能值，分析目标装备与效能评估指标体系之间的关系，构建目标装备对指标效能的支持度矩阵，根据支持度矩阵以及各级指标效能，按效能评估指标体系逐层聚合，综合计算装备对体系效能的贡献率。

2.3 改进的综合评估方法

从复杂度、应用场景、缺点、难点等方面，对上述装备体系贡献率评估方法进行比较分析，如表 1 所示。

针对基于装备体系的网络层次分析法能力指标评估难题、基于体系仿真及效能评估法中评估指标及评估方法选取难题，可以采用两者结合的方式进行综合评估：

1) 基于层次分析法中任务-能力分解矩阵，以能力指标作为体系仿真及效能评估指标，构建指标体系，进行基于能力的效能评估；

2) 基于体系仿真试验的能力指标评估结果作为层次分析法中能力评估值完成装备体系贡献率评估。

改进的综合评估方法综合了两方面的优势，解决了两种方法的难题，能够对装备体系贡献率进行精确的评估，评估流程如图 3 所示。

表 1 装备体系贡献率评估方法比较

Tab. 1 Comparison between evaluation methods of equipment contribution rate to SOS

| 评估方法  | 复杂度 | 应用场景    | 缺点                   | 难点                      |
|-------|-----|---------|----------------------|-------------------------|
| 定性评估  | 简单  | 适用范围广   | 主观评价                 | 定性结论难评估                 |
| 指标比较法 | 简单  | 同类装备比较  | 局限于单指标评价             | —                       |
| 灰靶比较法 | 适中  | 同类装备比较  | 局限于指标综合评价            | 灰靶变换方法、权重合理性            |
| 层次分析法 | 适中  | 体系级分析评估 | 能力评价体系不易构建           | 任务-能力矩阵分解、能力评估方法        |
| 仿真评估法 | 复杂  | 体系级效能评估 | 需进行体系对抗仿真及效能评估, 实现复杂 | 评估指标及仿真系统构建、仿真试验及效能评估方法 |

能力 (以下表中简称指标 Z1~Z5)。其中最大航程、抗毁能力、持续能力为极大极性值, 最小航程、反应能力为极小极性值。

选取同类型 3 型参考装备样本 (ZB1~ZB3) 与目标装备 (ZB0) 进行灰靶比较, 目标装备及参考装备技战术指标 (假定) 如表 2 所示, 并获取标准模式装备各项技战术指标。

表 2 目标、参考及标准模式装备技战术指标

Tab. 2 Indexes of target, reference and standard equipment

| 指标 | ZB0  | ZB1  | ZB2 | ZB3  | 标准模式 |
|----|------|------|-----|------|------|
| Z1 | 120  | 105  | 90  | 100  | 120  |
| Z2 | 35   | 40   | 40  | 20   | 20   |
| Z3 | 0.48 | 0.45 | 0.4 | 0.55 | 0.55 |
| Z4 | 2    | 2.5  | 20  | 1.5  | 1.5  |
| Z5 | 36   | 6    | 12  | 24   | 36   |

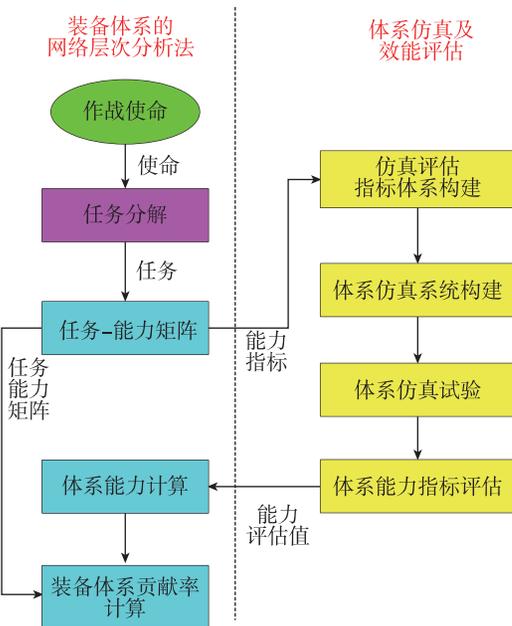


图 3 改进的装备体系贡献率评估流程

Fig. 3 Improved evolution process of equipment contribution rate to SOS

### 3 装备体系贡献率评估实例

#### 3.1 综合技战术指标灰靶比较法评估实例

假定某类型装备, 技战术指标体系包括: 最大航程、最小航程、抗毁能力、反应能力、持续

采用式 (5) 进行灰靶变换, 按式 (7) 计算各装备各指标的灰关联度差异信息。

由式 (8) 及 (9) 得到  $\Delta_{0i}(\max) = 0.925$ ,  $\Delta_{0i}(\min) = 0$ 。

根据式 (10), 计算各装备各指标对标准模式装备对应指标的靶心系数, 如表 3 所示。

表 3 各装备各指标对标准装备对应指标靶心系数

Tab. 3 Bull's-eye coefficient to standard equipment's indexes

| 指标 | ZB0   | ZB1   | ZB2   | ZB3   |
|----|-------|-------|-------|-------|
| Z1 | 1.000 | 0.787 | 0.649 | 0.735 |
| Z2 | 0.519 | 0.481 | 0.481 | 1.000 |
| Z5 | 0.784 | 0.718 | 0.629 | 1.000 |
| Z1 | 0.649 | 0.536 | 0.333 | 1.000 |
| Z2 | 1.000 | 0.357 | 0.410 | 0.581 |

为全面对各型装备进行评估, 需要将各装备所有指标的靶心系数进行加权。对各指标权重进行归一化处理。假定各指标权重分别为 1, 0.3, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 进行统一化处理, 根据式 (11) 计算各装备对标准模式装备的所有指标加权靶心系数, 结果如表 4 所示。

表4 各装备对标准模式装备加权靶心系数  
Tab.4 Weighted bull's-eye coefficient to standard equipment indexes

| 指标                      | 指标权重 | 归一化权重 | ZB0   | ZB1   | ZB2   | ZB3   |
|-------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Z1                      | 1    | 0.357 | 0.357 | 0.281 | 0.232 | 0.263 |
| Z2                      | 0.3  | 0.107 | 0.056 | 0.051 | 0.051 | 0.107 |
| Z3                      | 0.6  | 0.214 | 0.168 | 0.154 | 0.135 | 0.214 |
| Z4                      | 0.5  | 0.179 | 0.116 | 0.096 | 0.060 | 0.179 |
| Z5                      | 0.4  | 0.143 | 0.143 | 0.051 | 0.059 | 0.083 |
| 各装备对标准模式靶心度<br>(指标加权靶心) |      |       | 0.840 | 0.633 | 0.536 | 0.846 |

由表4最终灰靶比较结果可以看出,各装备相对于标准模式装备的靶心系数排序分别为装备3≈目标装备>装备1>装备2,目标装备由于各项均衡的综合技战术指标性能,实现了与装备3近似优异的综合性能。通过上述排序,可近似评估目标装备在目前同类装备体系中具备较好的贡献率。

### 3.2 基于网络层次分析法 (ANP) 评估实例

假定:

1) 遂行某任务  $T$  需要的能力  $C$ , 并由子能力  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  组成, 权值分别为 0.2, 0.1, 0.3, 0.3, 0.1;

2) 新增装备系统能够支撑  $C_2, C_3, C_5$  子能力;

3)  $C_2$  子能力由  $C_{21}, C_{22}$  能力指标评估, 权重分别为 0.5, 0.5;

4)  $C_3$  子能力由  $C_{31}, C_{32}, C_{33}$  能力指标评估, 权重分别为 0.3, 0.3, 0.4;

5)  $C_5$  子能力由  $C_{51}, C_{52}, C_{53}$  能力指标评估, 权重分别为 0.3, 0.4, 0.3。

对新增某装备系统后的被评体系、与现有装备系统构建的基准体系进行贡献率评估分析。

结合专家模糊综合评估评判, 按照采用评价集  $V = \{优-1、良-0.75、中-0.5、次-0.25、差-0\}$  5 个等级对评估指标进行判定, 如表 5 所示。

按照体系能力聚合评估方法, 进行能力项聚合计算可得任务  $T$ -能力  $C$  映射矩阵, 表 6 中给出了能力  $C$  各子能力的变化情况, 下划线部分代表该装备系统对体系能力的提升点。

以任务  $T$  为背景, 基准体系的能力  $C$  各子能

力  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  分别为 0.5, 0.5, 0.4, 0.7, 0.575, 能力  $C$  综合量化值为 0.5375; 被评体系的能力  $C$  各子能力  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  分别为 0.5, 0.875, 0.925, 0.7, 0.925, 能力  $C$  综合量化值为 0.7675。

表5 指标量化评估

Tab.5 Quantified evaluation for indexes

| 序号 | 任务     | 能力项      | 能力指标     | 评估结论 |      | 评估值  |      |
|----|--------|----------|----------|------|------|------|------|
|    |        |          |          | 基准体系 | 被评体系 | 基准体系 | 被评体系 |
| 1  | 任务 $T$ | $C_2$    | $C_{21}$ | 中    | 优    | 0.5  | 1    |
| 2  |        |          | $C_{22}$ | 中    | 良    | 0.5  | 0.75 |
| 3  |        | $C_{31}$ | 中        | 优    | 0.5  | 1    |      |
| 4  |        | $C_3$    | $C_{32}$ | 中    | 良    | 0.5  | 0.75 |
| 5  |        |          | $C_{33}$ | 次    | 优    | 0.25 | 1    |
| 6  |        |          | $C_{51}$ | 良    | 优    | 0.75 | 1    |
| 7  |        | $C_5$    | $C_{52}$ | 中    | 优    | 0.5  | 1    |
| 8  |        | $C_{53}$ | 中        | 良    | 0.5  | 0.75 |      |

表6 任务  $T$ -能力  $C$  映射矩阵

Tab.6 Mapping matrix from tasks to capabilities

| 能力     | 能力 $C$ |       |              |              |       |              |
|--------|--------|-------|--------------|--------------|-------|--------------|
|        | $C_1$  | $C_2$ | $C_3$        | $C_4$        | $C_5$ |              |
| 任务 $T$ | 基准体系   | 0.5   | 0.5          | 0.4          | 0.7   | 0.575        |
|        | 被评体系   | 0.5   | <u>0.875</u> | <u>0.925</u> | 0.7   | <u>0.925</u> |

根据体系贡献率定义, 该新增装备系统对任务  $T$  的能力  $C$  的贡献率为

$$V_d = (C_{\text{被评体系}} - C_{\text{基准体系}}) / C_{\text{基准体系}} = 42.8\% \quad (13)$$

针对目标体系, 对使命下多种任务进行基于能力的贡献率分析, 综合评估该装备对于体系贡献率。

## 4 结论

本文分析了装备贡献率评估的几种方法, 通过定性描述及技战术指标比较、综合技战术指标灰靶比较法结合进行简单评估, 基于装备体系的网络层次分析法、基于体系仿真及效能评估法具备较好的体系及装备贡献率评估能力, 但分别存在能力指标评估、评估指标构建及效能评估方法上的难题。本文结合基于装备体系的网络层次分析法、基于体系仿真及效能评估法两种方法特点及优势, 提出了将两种方法结合的改进综合评估方法及流程, 以层次分析法的任务-能力分解矩阵支撑体系仿真构建指标

体系及仿真系统,开展效能评估,以体系仿真支撑网络层次分析法进行能力指标评估,实现装备体系贡献率的准确评估,为装备体系论证、规划、评估提供有效支撑,并适应体系扩展及演进。

### 参考文献

- [1] 常雷雷.武器装备体系技术贡献度评估方法研究[D].长沙:国防科技大学,2010.
- [2] 常雷雷,张小可,李孟军.基于灰靶理论的武器装备体系技术贡献度评估[J].兵工自动化,2010,29(10):13-15.
- [3] 葛宏志,郑爱华.基于灰靶理论改进算法的技术贡献度评估[J].科学决策,2012(2):27-36.
- [4] 袁进徐,赵建峰,董振平,等.灰靶理论的空中目标威胁评估与排序[J].火力与指挥控制,2007(4):56-58+61.
- [5] 解志坚,薄玉成.武器系统效能评定的灰靶理论应用[J].兵工学报,2006(1):162-165.
- [6] 于芹章,张英朝,胡润涛,等.基于整体效果的 C4ISR 系统贡献度分析方法[C].国防科技会议,2012.

**引用格式:** 吴雄清,杨勇,周炎,等.装备体系贡献率评估方法探究[J].宇航总体技术,2021,5(3):21-27.

**Citation:** Wu X Q, Yang Y, Zhou Y, et al. Research of evaluation method for equipment contribution rate to system of systems[J]. Astronautical Systems Engineering Technology, 2021, 5(3): 21-27.