

doi: 10.7690/bgzd.2020.09.012

导弹部队作战单元保障能力评估

周立尧, 刘小方, 王亚光

(火箭军工程大学作战保障学院, 西安 710025)

摘要: 为解决导弹部队作战单元保障能力评估指标不确定性的问题, 提出一种多元联系系数的集对评估方法。对导弹作战单元保障能力影响因素进行分析, 建立导弹部队作战单元保障能力指标体系, 采用层次分析法和 G1 赋权法, 确定各指标的权重, 提出基于多元联系系数集对评估方法步骤, 并结合某部队作战单元进行实例分析。研究结果表明: 该方法能够动态地反映评估结果的非线性特征, 对导弹部队作战单元保障能力评估具有较好的指导作用。

关键词: 作战单元; 保障能力; 多元联系系数

中图分类号: TJ765.4 **文献标志码:** A

Evaluation of Missile Force Combat Unit Support Capability

Zhou Liyao, Liu Xiaofang, Wang Yaguang

(College of Combat Support, Rocket Force Engineering University, Xi'an 710025, China)

Abstract: In order to solve the problem of the uncertainty of the evaluation index of the missile force combat unit support capability, a set pair evaluation method with multiple connection numbers is proposed. This paper analyzes the influencing factors of the supporting ability of the missile combat unit, establishes the index system of the supporting ability of the missile combat unit, uses the analytic hierarchy process and G1 weighting method to determine the weight of each index, puts forward the steps of the evaluation method based on the multiple connection number set, and analyzes an example of a military combat unit. The research results show that this method can reflect the nonlinear characteristics of the evaluation results dynamically, and has a good guiding role for the evaluation of combat unit support capability of missile forces.

Keywords: combat unit; support capability; multiple connections

0 引言

随着使命任务的拓展, 导弹部队将以武器系统为基础集成指挥控制、侦察通信、转载测试和综合保障等能力要素形成作战单元, 以作战单元为基本作战单位跨战区遂行多种样式的作战任务, 将成为未来战场上的新常态。当前, 随着部队编成向充实、合成、多能、灵活的方向发展, 作战单元保障能力没有系统的研究, 严重制约了导弹部队作战单元保障能力建设和作战单元战斗力的提升; 因此, 开展导弹部队作战单元保障能力评估研究, 符合部队建设需要, 对于提高部队作战单元战斗力具有现实价值和实际意义。

笔者以某型导弹武器系统集成后的作战单元作为研究对象, 通过分析人员装备情况, 建立作战单元保障能力的指标体系, 采用层次分析法和 G1 法对各级指标进行赋权, 应用多元联系系数集对分析方法完成对作战单元保障能力的准确评估, 为未来大规模联合作战运用提供参考依据。

1 导弹作战单元保障能力指标体系构建

1.1 导弹作战单元保障能力影响因素分析

导弹部队作战单元保障工作是保证导弹部队独立完成作战任务过程中所开展的作战、装备和后勤等综合性保障工作^[1-3], 在实际中部队作战单元保障能力分为维修保障能力、阵地保障能力、作战保障能力、人员保障能力、后勤保障能力。

1.1.1 维修保障能力

维修保障能力指的是作战单元在作战任务过程中使装备迅速恢复规定状态, 保证任务顺利进行的能力。在导弹作战单元保障任务中, 维修保障能力主要取决于战场抢修能力、故障诊断能力和备件保障能力。战场抢修能力是作战单元在执行作战任务过程中完成装备修理任务, 使装备迅速恢复必要功能的能力; 故障诊断能力是作战单元在执行作战任务过程中, 迅速准确找出故障问题并诊断故障原因的能力; 备件保障能力是保障作战单元作战过程中更换备件的能力, 是实施修理的基础。

收稿日期: 2020-05-10; 修回日期: 2020-06-29

作者简介: 周立尧(1992—), 男, 陕西人, 学士, 从事军事装备研究。E-mail: zhoullyao12345@qq.com。

1.1.2 阵地保障能力

导弹阵地是导弹部队准备和实施导弹突击的场地，阵地保障能力的强弱对于导弹部队完成发射任务具有重要作用。阵地保障能力根据导弹部队作战单元保障实际可以分为阵地环境保障能力、阵地构筑抢修能力、阵地警戒防卫能力。阵地环境保障能力是导弹部队构建满足作战需求环境的阵地保障能力；阵地构筑抢修能力是指阵地受到破坏后恢复阵地满足作战需求的能力；阵地警戒防卫能力是指防止导弹阵地受到干扰以及处理阵地突发情况的能力。

1.1.3 作战保障能力

作战保障是部队为满足作战需要而组织实施的直接服务于作战行动的保障^[4]。对于执行作战任务的导弹作战单元，作战保障能力主要与侦察保障、通信保障、气象保障有关。侦察保障是导弹部队作战单元搜索和发现目标以及获取信息情报的能力；通信保障是导弹部队作战单元为满足作战在通信联络方面组织实施的保障；气象保障指在作战任务中获取气象信息的能力，对于导弹部队作战单元作战决策具有参考意义。

1.1.4 人员保障能力

人员保障能力是指参加作战任务人员发挥作战能力，保障任务开展的重要组成部分，包括人员素质水平、人员编配情况等。人员素质水平是参加作战任务人员能力的强弱，包括专业知识掌握情况、处理突发状况等方面的综合素质；人员编配情况是参加作战任务人员编配合理、配置准确的体现。

1.1.5 后勤保障能力

后勤保障是执行作战任务中后方综合勤务保障^[5]，包括饮食保障能力、医疗救护能力和用水保障能力。饮食保障就是在执行作战任务中具备饮食保障和食品携行的能力；医疗救护保障指作战单元具备常见病和战伤应急救治及卫生防疫能力等；用水保障指作战单元鞋型战时饮用水的保障能力，以及具备野外水质水源净化处理能力等，是保证人员生活的基础。

1.2 导弹作战单元保障能力指标体系

如图 1 所示，根据影响导弹作战单元保障能力因素分析建立了目标层、要素层、指标层 3 个层次的评价指标体系。

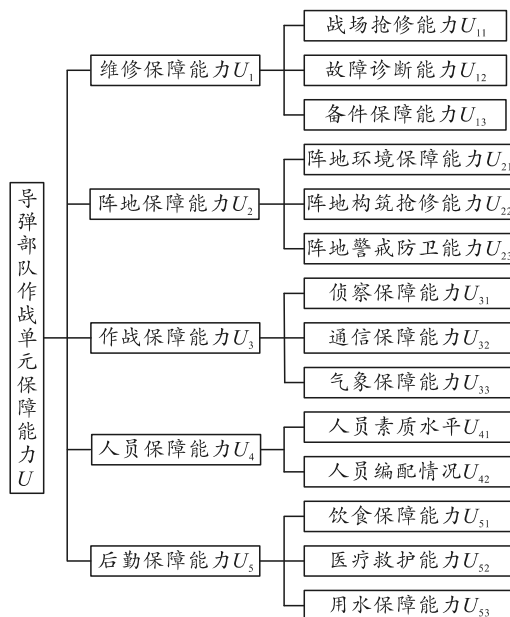


图 1 导弹部队作战单元保障能力指标体系

2 评价指标权重的确定

在各项评估中，确定各指标的权重是计算评估结果最重要的一个内容，权重的合理性将会影响评估结果的准确性。在实际能力评估应用中，应当兼顾各种方法的优缺点，使能力评估的结果更加符合客观情况^[6-8]。

2.1 层次分析法确定二级指标权重

层次分析法(analytical hierarchy process, AHP)是一种解决多目标的复杂问题的定性与定量相结合的决策分析方法^[9-10]。层次分析法是用决策者的经验判断各衡量目标能否实现标准之间的相对重要程度，并合理地给出每个决策方案的每个标准的权数。笔者以 U_1 指标为例，采用层次分析法，确定二级指标权重。

2.1.1 构建判断矩阵，计算权重向量

根据指标 U_{11} , U_{12} , U_{13} 对 U_1 的重要性，将 U_1 层两两比较，构造判断矩阵如表 1 所示。

表 1 判断矩阵和权重向量

U_1	U_{11}	U_{12}	U_{13}	$M_i = \prod_{j=1}^n u_{ij}$	$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i}$	$w_i = \bar{W}_i / \sum_{i=1}^n \bar{W}_i$
U_{11}	1	2	3	6.000	1.817	0.540
U_{12}	1/2	1	2	1.000	1.000	0.297
U_{13}	1/3	1/2	1	0.167	0.550	0.163

U_1 层权重向量 $w_1 = (0.540, 0.297, 0.163)$ 。

2.1.2 一致性检验

1) 计算判断矩阵的特征根。

$$Aw_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} (0.540, 0.297, 0.163)^T = (1.624, 0.894, 0.492)^T,$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^3 \frac{(Aw_1)_i}{nw_{1i}} = \frac{1.624}{3 \times 0.540} + \frac{0.894}{3 \times 0.291} + \frac{0.492}{3 \times 0.163} = 3.010.$$

2) 一致性指标判定。

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) = (3.010 - 3) / (3 - 1) = 0.005.$$

该判断矩阵为 3 阶矩阵，查表可得其平均随机一致性指标 RI=0.58。

$$CI/RI = 0.005/0.58 = 0.008 < 0.1.$$

因此，判断矩阵完全满足一致性检验要求，故 U_1 层权重 $w_1 = (0.540, 0.297, 0.163)$ 符合要求。

按照同样的计算方法，可以计算出：

$$w_2 = (0.232, 0.436, 0.332),$$

$$w_3 = (0.493, 0.311, 0.196),$$

$$w_4 = (0.6, 0.4),$$

$$w_5 = (0.201, 0.513, 0.286).$$

2.2 G1 赋权法确定一级指标权重

因一级指标数量为 5，利用层次分析法进行两两比较时容易出现错误，采用 G1 赋权法可以避开层次分析法的弊端，无需构造判断矩阵，减小了权重求解的计算量；同时，G1 赋权法所确定的关系也来自评价专家，具有较高可信度^[11]。因此，笔者采用 G1 赋权法对一级指标进行赋权，计算过程如下。

2.2.1 确定指标间的重要性

采用专家评定，确定指标重要程度，并按照重要性进行排序： $U_3 \geq U_1 \geq U_2 \geq U_4 \geq U_5$ 。记 x_n^* 为排序后的第 n 个指标，则 $x_1^* \geq x_2^* \geq x_3^* \geq x_4^* \geq x_5^*$ ，由 x_n^* 与 U_i 的对应关系可得： $x_1^* = U_3$ ， $x_2^* = U_1$ ， $x_3^* = U_2$ ， $x_4^* = U_4$ ， $x_5^* = U_5$ 。

2.2.2 确定权重比

相邻 2 个指标之间的权重之比表示为 r_k ，即 $r_k = w_{k-1}^* / w_k^*$ ，其取值参考表 2。通过专家打分结果，可得 $r_2=1.2$ ， $r_3=1.2$ ， $r_4=1.4$ ， $r_5=1.6$ 。

表 2 G1 赋权法指标间重要性比较

重要性程度	同等重要	稍微重要	一般重要	明显重要	强烈重要	极端重要
r_k 取值	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0

2.2.3 确定权重系数

指标 x_n^* 的权重记作 w_n^* ，计算公式为：

$$w_n^* = 1 / \left(1 + \sum_{k=2}^n \prod_{i=k}^n r_i \right).$$

首先计算 $w_5^* = 0.093$ ，根据 $r_k = w_{k-1}^* / w_k^*$ 可得 $w_4^* = r_5 \times w_5^* = 1.6 \times 0.093 = 0.149$ 。

同理求得 $w_3^* = 0.208$ ， $w_2^* = 0.250$ ， $w_1^* = 0.300$ 。由 x_n^* 与 U_i 的对应关系，可得一级指标权重 $w = (0.250, 0.208, 0.300, 0.149, 0.093)$ 。

3 多元联系数集对分析模型

3.1 集对分析

集对分析本质上是一种新的不确定性理论。它的核心思想是把确定性和不确定性看作一个确定性/不确定性系统。在这个系统中，确定性和不确定性是相互关联、相互影响、相互制约的，通过联系度来统一描述模糊、随机和信息不完全等所致的各种不确定性，从而把对不确定性的结果转化为具体结果的数学方法^[12]。其数学模型为：将具有某种一定联系的 2 个集合 A 和 B 组成的对子，记为 $H(A, B)$ ，对组成集对的 2 个集合特性作同一性、差异性、对立性分析，其特性用联系数进行定量刻画，2 个集合的联系度表达式为：

$$\mu_{A-B} = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j. \tag{1}$$

式中： N 为集合特性总数； S 为同一特性个数； F 为差异性个数； P 为对立性个数； i 为差异不确定系数，在 $[-1, 1]$ 之间取值； j 称为对立系数，规定取值为 -1 。

为简便，称 $a=S/N$ 为同一度， $b=F/N$ 为差异度， $C=P/N$ 为对立度；因此，可以得出 $a, b, c > 0$ 且满足 $a+b+c=1$ 。上述联系度表达式可表示为

$$\mu_{A-B} = a+bi+cj. \tag{2}$$

3.2 多元联系数

多元联系数集对分析是在联系数 $\mu_{A-B} = a+bi+cj$ 中对 bi 项展开，得到的一种具有层次结构的函数，如 5 元联系数 $\mu_{A-B} = a+b_1i+b_2i^2+b_3i^3+cj$ 。多元联系数是研究对象在确定、不确定联系状态下的结构函数，能够表征各层次的先后顺序，刻画了被描述对象彼此之间的联系、制约以及相互转化的关系，值的大小决定和包含了决策评价结果信息的全部。

3.3 评估模型的构建

1) 确定评估等级。

首先确定评估指标的打分标准，根据专家意见或者经验将结果分解为若干个等级，如“优、良、合格、不合格”等。

2) 确定多元联系数。

联系数的元数取决于评估等级的数量，如评估等级为 5，即“优秀、良好、中等、一般、差”，即可确定为 5 元联系数， $\mu = a+bi+cj+dk+el$ 。其中： $a,b,c,d,e \in [0,1]$ ； $i,j,k \in (-1,1)$ ； $l = -1$ 。

3) 建立评估指标矩阵 R 。

评价指标通常分为正向型指标、逆向型指标和固定型 3 类^[13]。常见的评价指标矩阵系数计算公式分别如下：

正向型指标评估矩阵中系数计算公式：

$$u_{mn} = \begin{cases} 0 & x \in [0, s_1] \\ (x - s_1) / (s_2 - s_1) & x \in (s_1, s_2) \\ 1 & x \in [s_2, +\infty) \end{cases} \quad (3)$$

逆向型指标评估矩阵中系数计算公式：

$$u_{mn} = \begin{cases} 0 & x \in [0, s_1] \\ (s_2 - x) / (s_2 - s_1) & x \in (s_1, s_2) \\ 1 & x \in [s_2, +\infty) \end{cases} \quad (4)$$

式(3)、式(4)中： x 为第 m 个评估指标中第 n 个评估等级的指标值； s_1, s_2 分别为 x 所在评估等级标准的门限值。

4) 计算多元评价指标联系数。

$$u_n = W_n \cdot R_n \cdot E \quad (5)$$

其中： W_n 为各二级指标的权重系数向量； R_n 为评估矩阵； E 为多元联系数分量系统矩阵。

5) 计算作战单元保障能力的综合评估多元联系数 u 。

通过对二级指标的综合评估多元联系数加权求和，得到指挥信息系统信息能力的综合评估多元联系数为：

$$u = \sum_{i=1}^k w_i u_i \quad (k \text{ 为一级指标的个数}) \quad (6)$$

4 实例分析

4.1 确定评估等级

通过对某型导弹武器系统集成后的作战单元考核，根据专家的意见，将等级评语确定为{优秀、良好、中等、一般、差}，评估等级与门限值如表 3

所示。

表 3 评估等级与门限值

评估等级	优秀	良好	中等	一般	差
门限值	≥ 90	80	70	60	< 60

4.2 确定多元联系数

根据专家确定导弹部队作战单元保障能力评估 5 个等级，可确定为 5 元联系数 $\mu = a+bi+cj+dk+el$ ，其中 $a,b,c,d,e \in [0,1]$ ； $i,j,k \in (-1,1)$ ； $l = -1$ 。

4.3 建立评估指标矩阵 R

结合某型导弹武器系统集成后的作战单元考核结果如表 4 所示。

表 4 某作战单元维修能力考核结果

指标	故障诊断能力	战场抢修能力	备件保障能力
考核结果	89.3	91.2	87.9

各项指标均为正向性指标，将其考核结果代入式(3)，可得该作战单元维修能力 U_1 的评估矩阵为：

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.93 & 0.07 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.79 & 0.21 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.4 计算多元评价指标联系数

将 W_1, R_1, E 代入式(5)，得到该作战单元维修能力的五元联系数：

$$u_1 = (0.540, 0.297, 0.163) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0.93 & 0.07 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.79 & 0.21 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \\ k \\ l \end{bmatrix} = 0.928 + 0.072i + 0j + 0k + 0l$$

同理，可求出阵地保障能力、作战保障能力、人员保障能力、后勤保障能力的五元联系数为：

$$u_2 = 0.525 + 0.475i + 0j + 0k + 0l,$$

$$u_3 = 0.689 + 0.311i + 0j + 0k + 0l,$$

$$u_4 = 0.596 + 0.328i + 0.076j + 0k + 0l,$$

$$u_5 = 0.697 + 0.249i + 0.054j + 0k + 0l.$$

根据式(6)，求得该作战单元保障能力的五元联系数为：

$$u = \sum_{i=1}^k w_i u_i = 0.702 + 0.282i + 0.016j + 0k + 0l \quad (7)$$

4.5 对保障能力综合评价分析

根据集对分析模型，对式(7)的保障能力联系数

结果进行分析,可以得出:该作战单元保障能力的综合评估相对于“优秀”等级的同一度为 70.2%;相对于“良好”等级的同一度为 28.2%;“中等”等级的同一度为 1.6%;“一般”等级的同一度为 0%;“差”等级的同一度为 0%。

因为五元联系数 $\mu=a+bi+cj+dk+el$ 是对 $\mu=a+bi+cj$ 的扩展,其中 i, j, k 在 $(-1,1)$ 之间视不同情况取值。根据导弹部队作战单元保障的不确定性特点,笔者采用“均分原则”确定五元联系数的联系分量取值,并计算评价对象的联系数值。“均分原则”是指, $i, j, k \in (-1,1)$ 的取值位于 $(-1,1)$ 区间的 3 个四等分位置,即 $i=0.5, j=0, k=-0.5$ 。则通过式(7)可计算得:

$$u = 0.702 + 0.282 \times 0.5 = 0.843。$$

由于联系数的取值范围为 $[-1,1]$,根据“均分原则”确定联系数与评估等级的对应关系,即 $\mu \in [0.6,1]$ 为“优秀”, $\mu \in [0.2,0.6)$ 为“良好”, $\mu \in [-0.2,0.2)$ 为“中等”, $\mu \in [-0.6,0.2)$ 为“一般”, $\mu \in [-1,-0.6)$ 为“优秀”。通过对导弹部队作战单元保障能力的分析可以得出其保障能力的五元联系数为 $0.843 \in [0.6,1]$ 为“优秀”等级,与实际相符。

5 结束语

笔者针对导弹部队作战单元保障能力评估指标互相关联、互相影响、互相制约的不确定性特点,将集对分析联系数及其不确定性分析方法引入到导弹部队作战单元保障能力评估中。结果表明:将集对分析应用于导弹部队作战单元保障能力评估,有利于解决评估结论进行不确定性探讨,动态地反应评估结果的非线性特征,保证评估结果的有效性和科学合理性。且采用集对分析法计算过程简单,能够在实际应用中提高评估的质量和效率,在评估弹

部队作战单元保障能力中具有较高的应用价值。

参考文献:

- [1] 方洋旺,伍友利,方斌. 机载导弹武器系统保障能力评估[M]. 北京:国防工业出版社,2010:23-27.
- [2] 符拯,涂震飏. 导弹武器系统保障能力评估模型研究[J]. 新技术新工艺,2017(7):35-38.
- [3] 吴彦锐,伍友利,刁兴华,等. 基于作战仿真的导弹武器系统保障能力评估[J]. 火力与指挥控制,2014,39(9):19-22,27.
- [4] 蔡有苍,郑世问. 做好应急军事行动准备提高车辆装备保障能力[J]. 汽车运用,2010(3):13-14.
- [5] 丁剑飞,司光亚,杨镜宇. 关于体系保障能力评估指标体系构建方法的研究分析[J]. 指挥与控制学报,2016,2(3):239-242.
- [6] 范红军,马瑞萍,周超. 基于灰色层次分析法的潜射弹道导弹作战能力评估[J]. 弹箭与制导学报,2007(5):252-254.
- [7] 王君璐,朱华进,王海涛,等. 基于群决策层次分析法的潜射反舰导弹武器系统保障能力评估[J]. 海军航空工程学院学报,2017,32(4):416-420.
- [8] 陈飞翔,郭三学,牛良超. 基于模糊层次分析法的警用非致命空气炮保障能力评估[J]. 装备环境工程,2019,16(5):101-105.
- [9] 周华任,张晟,穆松,等. 综合评价方法及其军事应用[M]. 北京:清华大学出版社,2015:54-55.
- [10] 徐萍,王宁. 论层次分析法在供应商选择评价中的应用[J]. 科技视界,2015(12):125-126.
- [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保障能力评估[J]. 兵器装备工程学报,2018,39(10):96-99.
- [12] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,2000:18-126.
- [13] 孙瑞,王智学,曹伟杰. 指挥信息系统信息能力的评估[J]. 计算机技术与发展,2012(10):125-128.