

基于影响矩阵的作战能力评估指标相关性研究

何新华¹, 金国柱², 陈庚申¹, 马一楠¹

(1. 装甲兵工程学院 信息工程系, 北京 100072; 2. 空军后勤部, 北京 100072)

摘要: 装备体系作战能力的产生是一个复杂的涌现过程, 围绕评估指标相关性分析的具体需求, 结合作战能力评估的实际情况, 基于影响矩阵提出了基于隶属、约束和互补关系的关系模型, 给出了评估方法的一般流程, 最后介绍了相关性分析算法并用实例验证了该模型的可行性和正确性。

关键词: 装备体系; 作战能力; 影响矩阵; 相关性

本文引用格式: 何新华, 金国柱, 陈庚申, 等. 基于影响矩阵的作战能力评估指标相关性研究[J]. 四川兵工学报, 2014(5): 1-3.

中图分类号: E920.8

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2014)05-0001-03

Correlation of Combat Capability Evaluation Index Based on the Influence Matrix

HE Xin-Hua¹, JIN Guo-zhu², CHEN Geng-shen¹, MA Yi-nan¹

(1. Department of Information Engineering, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China;
2. Air Force Logistics Command, Beijing 100072, China)

Abstract: The combat capability of equipment systems is a complicated process of emergence. In this paper, combining with the practical situation, model relationship was proposed base on affiliation, constraint and complementation relationship under the specific needs of correlation analysis evaluation indicators. At last, general flow of evaluation method was given and correlation algorithm was introduced based on influence matrix. Besides, the feasibility and correctness of modes were proved by examples.

Key words: equipment systems; combat capability; influence matrix; correlation

Citation format: HE Xin-Hua, JIN Guo-zhu, CHEN Geng-shen, et al. Correlation of Combat Capability Evaluation Index Based on the Influence Matrix[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(5): 1-3.

随着信息化战争由“平台对抗”向“体系对抗”的转变, 复杂性的提高对武器装备采办和论证提出了更高的要求。作战能力评估是武器装备采办和论证的核心问题之一, 评估结论通常视作采办决策的重要依据。指标通常指预期达到的指数、规格或标准; 指标体系是指由若干指标相互关联而构成的整体。装备体系作战能力指标是用来衡量作战能力大小的单元。对装备体系作战能力进行自上而下、逐层分解的方式分解, 最终形成树状层次性指标体系, 亦是评估装备体系作战能力的基础。评估指标的有效性是影响装备体系作战能力评估结论的主要因素。装备体系作战能力的产生是一个复杂的涌现过程, 使得评估指标结构形成错综复杂的关系。如何分析指标间的关系, 构建完备、客观、准确的指标

模型进而聚合获得真实可靠的作战能力成为急迫要研究的问题。为此本文基于对指标间上下、同级指标的关系分析, 本文提出基于网络分析法的装备体系作战能力评估方法, 尝试对装备体系作战能力评估方法进行有效的研究。

1 评估指标关联关系建模

作战能力指标和作战背景紧密相关, 其选取范围也取决于诸多因素, 作战目标不同、作战任务不同、作战装备不同, 对作战能力评估指标的选取要求也不同。但是为确保评估指标体系的可用性, 在指标选取过程中, 除了遵循针对性、一致性、客观性之外, 还必须符合可测量性、方案可鉴别性、敏

感性、独立性等。另外,在选择作战能力评价指标时并不是越多越好,关键在于能否正确反映系统的作战能力。若作战能力评价指标过多,不仅会增大指标空间的规模,还将造成计算上的困难,使得结果变得更加复杂,甚至会影响评价的客观性。为此,需要引入某种评价模型,负责筛选评估指标体系中的每一个元素,尽可能的确保评估指标体系的合理性和全面性。结合 Kano 模型^[1-2]的双因素理论和可操作性强,对某战场感知能力为例进行分析^[3]。战场感知能力相关的主要因素包括:侦查平台活动能力、无人机监视能力、己方态势感知能力、情报集成能力和地面侦查能力,对于信息化条件下装备体系作战能力影响最大的是情报集成能力,因此情报集成能力应该作为重要评估指标而提出。类似的还有联合打击能力,超视距打击能力对于联合打击能力有着重要的影响。

装备体系作战能力指标的影响关系是指评估指标间存在的彼此关联、互相牵涉性质,作战能力指标间主要存在 3 种关联关系: $R = \{R_1, R_2, R_3\}$;其中, R_1 表示隶属关系集合、 R_2 表示约束关系集合、 R_3 表示互补关系集合。

(1)若上级指标可分解成若干下级指标,且全体下级指标的取值共同决定上级指标的取值,当任意下级指标取值变化,都将影响上级指标的取值。此种指标关联关系称之为隶属关系。设所有评估指标的集合为 Ω ,那么 $R_1 = \{\langle c_i, c_j \rangle \mid c_i, c_j \in \Omega\}$;设集合 $S(R_1)$ 表示 R_1 中所有上级指标的集合,显然 $S(R_1) = \{c \mid \exists v \in \Omega \wedge \langle c, v \rangle \in R_1\}$ 。按照集合 $S(R_1)$ 中的任意元素 $c \in S(R_1)$,可以得到一个集合 $E = \{e \mid \langle c, e \rangle \in R_1\}$ 。显然集合 E 中的指标就构成了网络分析法中相对指标 c 的一个元素组。

(2)对于由同一个上级指标分解得到的若干下级指标,若下级指标相对上级指标的权值分配会因指标之间的相互关系而产生影响,则此种指标关联关系称之为约束关系。设所有评估指标的集合为 Ω ,那么 $R_2 = \{\langle c_i, c_j \rangle \mid c_i, c_j \in \Omega \wedge (\exists e \langle e, c_i \rangle \in R_1 \wedge \langle e, c_j \rangle \in R_1)\}$ 任意元素 $\langle c_i, c_j \rangle \in R_2$,其中 $\langle c_j, c_i \rangle \notin R_2$,表示 c_j 受 c_i 的约束影响。假设在不考虑约束关系时指标 c_i 和 c_j 相对指标 e 的权值为 ω_i 和 ω_j ,那么当考虑两者之间的约束关系后,相对指标 e 的权值变为 ω_i 和 ω_j 。利用 ANP 构建判断矩阵时,必须谨慎考虑具有约束关系指标间的相对重要性。

(3)对于由同一个上级指标分解得到的若干下级指标,若下级指标相对上级指标的权值分配会因指标之间的互补充作用而产生影响,则此种指标关联关系称之为互补关系。设所有评估指标的集合为 Ω ,那么

$$R_3 = \{\langle c_i, c_j \rangle \mid c_i, c_j \in \Omega \wedge (\exists e \langle e, c_i \rangle \in R_1 \wedge \langle e, c_j \rangle \in R_1)\}$$

其中 $\langle c_j, c_i \rangle \in R_3$,表示 c_j 与 c_i 之间具有互补关系。假设在不考虑互补关系时指标 c_i 和 c_j 相对指标 e 的权值为 ω_i 和 ω_j ,那么当考虑两者之间的互补关系后,相对指标 e 的权值变为 ω_i 和 ω_j 。

根据装备体系作战能力评估的需求,结合上述关于指标

关联关系模型,可以看出,网络化指标主要考虑同层级之间的指标间关系,忽略了不同层级间的指标关系。如果不同层级间的指标存在关联关系,且不能忽略,那么只会提高评估指标关联关系识别的难度,并不影响方法的有效性。

2 基于影响矩阵的评估指标相关性分析方法

评估指标体系的建立通常遵循层次化结构,因此隶属关系可以在评估指标体系构建阶段,按照指标的层级关系自然地确定,但是指标之间的约束关系和互补关系需要通过对标进行深入分析后才能确定,为此提出基于影响矩阵^[4-5]的评估指标相关性分析方法。

2.1 指标相关性分析方法

影响矩阵(Influence Matrix)分析法,又称交叉概率法。作为典型的专家打分法,主要面向复杂因素之间的因果关系分析,能系统解决指标之间相互作用和相互影响的预测问题。基于影响矩阵的指标相关性分析方法如下:

(1)建立影响矩阵。在 n 阶影响矩阵 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 中, a_{ij} 表示指标 i 对指标 j 的影响程度,由专家对指标 i 与指标 j 的对比获得。 $a_{ij} = 0$ 表示指标 i 对指标 j 没有影响; $a_{ij} = 1$ 表示指标 i 对指标 j 有小的影响关系; $a_{ij} = 2$ 表示指标 i 对指标 j 有大的影响关系; $a_{ij} = 3$ 表示指标 i 对指标 j 有很大的影响关系。显然 A 是一个有向矩阵, a_{ij} 一般不等于 a_{ji} ,即通常情况下,指标 i 对指标 j 与指标 j 对指标 i 的影响程度并不相同。

(2)影响矩阵 A 的归一化。通过下面的公式对影响矩阵 A 进行归一化,得到有向关系矩阵 X :

$$X = r \cdot A$$

其中 $r = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$

(3)极限关系矩阵的获得。获得归一化的有向关系矩阵 X 后,极限关系矩阵 T 可以通过下式计算,其中 I 表示单位矩阵。

$$T = \lim_{k \rightarrow \infty} (X + X^2 + \dots + X^k) = X(I - X)^{-1}$$

(4)因果图绘制。用 D 和 R 分别表示极限关系矩阵 T 中行和向量与列和向量。

$$D = \left[\sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1} = [t_i]_{n \times 1}$$

$$R = \left[\sum_{i=1}^n t_{ij} \right]_{1 \times n} = [t_j]_{1 \times n}$$

将 $D + R$ 作为横轴,将 $D - R$ 作为纵轴,指标 i 的横坐标值为 $D_i + R_i$,表示指标 i 的“显著性”,即指标 i 影响其他指标或者被其他指标影响的程度;指标 i 的纵坐标值为 $D_i - R_i$,表示指标 i 的“关系”,根据 $D_i - R_i$ 的值可以将指标分为两类:原因群和结果群。通常当 $D_i - R_i$ 为正数时,指标 i 归入原因群;否则标为结果群。因此,因果图可为决策者提供一种可视化的结构模型,用来辅助定性和分析指标之间相关性和相关程度,也能有效增强决策者对问题的认知程度。

(5)判断影响关系。利用因果图提供的原因群和结果群进行影响关系判断。

2.2 评估指标相关性分析流程

利用影响矩阵方法对装备体系作战能力指标体系中处于同一层次指标间的约束和互补关系进行分析。一方面可以降低超矩阵构造时的比较次数开销,降低建模复杂度;另一方面,在将相关指标分为原因群和结果群的过程中,获得更多有价值的信息,为更好的分析指标内部的作用关系而提供支持。基于影响矩阵的评估指标相关性分析流程主要包括以下步骤:

(1)评估指标识别。评估指标识别是指从装备体系作战能力指标体系中分辨和剥离出具有层次结构的评估指标子集,任意子集的评估指标构成 ANP 方法中的一个元素组。

(2)分析准则选择。分析准则是指指标间的影响关系,即指标间的约束关系和互补关系。影响矩阵的构造受分析准则的指导。

(3)构造影响矩阵。构造影响矩阵是指在一定的分析准则指导下,对评估指标子集中的元素组间的影响关系进行两两对比,建立相对比较客观的关系矩阵。

(4)影响关系分析。影响关系分析是指基于影响矩阵求解生成因果图,利用因果图提供的原因群和结果群分析指标之间是否具有影响关系,并且将这些影响程度,即关系矩阵保存下来,作为构建 ANP 方法的判断矩阵的初始输入条件。

(5)网络化评估指标。根据影响关系分析的结果,将层次化的装备体系作战能力指标体系转变为网络化的装备体系作战能力指标体系。

2.3 案例分析

以联合打击能力相关的指标间的影响关系分析为例说明方法的有效性,如图 1 所示。

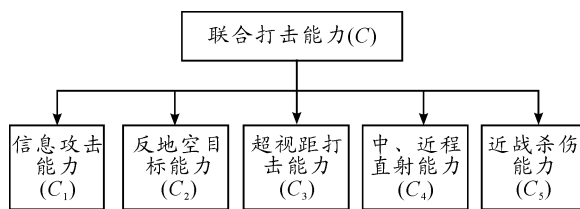


图 1 联合打击能力

(1)建立有向关系矩阵 A :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 3 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 0 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(2)归一化有向关系矩阵 A 得到矩阵 X :

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 0.222\ 2 & 0.333\ 3 & 0.333\ 3 & 0.111\ 1 \\ 0.111\ 1 & 0 & 0.111\ 1 & 0.111\ 1 & 0.111\ 1 \\ 0.222\ 2 & 0.111\ 1 & 0 & 0.333\ 3 & 0.111\ 1 \\ 0.222\ 2 & 0.111\ 1 & 0.222\ 2 & 0 & 0.111\ 1 \\ 0.111\ 1 & 0.111\ 1 & 0.111\ 1 & 0.111\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(3)获得总的关系矩阵 T :

$$T = \begin{bmatrix} 0.474\ 7 & 0.556\ 9 & 0.790\ 6 & 0.862\ 5 & 0.409\ 4 \\ 0.322\ 1 & 0.180\ 8 & 0.351\ 4 & 0.383\ 3 & 0.248\ 6 \\ 0.575\ 0 & 0.412\ 1 & 0.445\ 4 & 0.758\ 7 & 0.354\ 6 \\ 0.5271 & 0.3777 & 0.575\ 0 & 0.445\ 4 & 0.325\ 0 \\ 0.322\ 1 & 0.280\ 8 & 0.351\ 4 & 0.383\ 3 & 0.148\ 6 \end{bmatrix}$$

(4)获得关系矩阵 T 行和向量 D 与列和向量 R :

$$D = [3.094\ 1, 1.486\ 2, 2.545\ 7, 2.250\ 2, 1.486\ 2]$$

$$R = [2.220\ 9, 1.808\ 3, 2.513\ 8, 2.833\ 2, 1.486\ 2]$$

(5)向量 D 与向量 R 求和求差:

$$D + R = [5.315\ 0, 3.294\ 5, 5.059\ 5, 5.083\ 4, 2.972\ 4]$$

$$D - R = [0.873\ 2, -0.322\ 1, 0.031\ 9, -0.583\ 0, 0]$$

(6)获得评估指标的坐标值:

$$C_1(5.315\ 0, 0.873\ 2), C_2(3.294\ 5, -0.322\ 1)$$

$$C_3(5.059\ 5, 0.031\ 9), C_4(5.083\ 4, -0.583\ 0)$$

$$C_5(2.972\ 4, 0)$$

依据坐标值,绘制相关因果图,如图 2 所示。

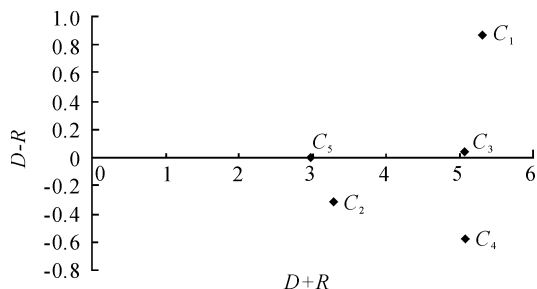


图 2 指标间影响关系的因果图

从图 2 可以看出,代表信息攻击能力、超视距打击能力和中、近程直射能力的指标 C_1 、 C_3 和 C_4 ,都位于因果图的最右侧,表明 C_1 、 C_3 和 C_4 与其他指标之间的存在较大的相关程度;指标 C_1 位于因果图最上端,表明信息攻击能力指标在相互影响关系中是“因”,需要评估人员进行重点考虑。

参考文献:

- [1] Huang Yangyan, Liu Chen, Lei Zhen, et al. A Methodology of Simulation and Evaluation on Armored Equipment Operational Effectiveness Supporting SBA[C]//The Asia Simulation Conference/Sixth International Conference on System Simulation and Scientific Computing, Beijing, P. R. China, 2005, 10, 352 - 356.
- [2] 吴枚,金兰晓.顾客满意与卡诺模型[J].企业管理,2003(4):112 - 115.
- [3] 周旋.基于贝叶斯网络的作战效能评估与分析方法研究[D].长沙:国防科技大学,2008.
- [4] 王磊,刘喜春,徐传福.基于贝叶斯网络的装备作战效能仿真结果分析方法[J].系统仿真学报,2008(12):6519 - 6523.
- [5] Bruce D. Bayesian Methods for Collaborative Decision-Making[R]. Robust Decisions Inc,2003.