

# 基于包络分析的装备体系贡献度评估方法

刘同林<sup>1,2</sup>, 涂震飏<sup>1,2</sup>, 张虎<sup>1,2</sup>, 吕远见<sup>1,2</sup>

1. 中国航天科工三院复杂系统控制与智能协同技术重点实验室, 北京 100074

2. 北京机电工程研究所, 北京 100074

**摘要** 装备体系贡献度的评估能为装备发展论证、作战试验开展以及作战使用保障提供有效的理论支持。分析了武器装备体系贡献度概念的内涵,总结了现有的装备体系评估的方法,构建了武器装备体系贡献度评估指标体系,给出了基于包络分析法的武器装备体系贡献度评估模型与步骤,进行了算例评估与验证分析。本研究验证了该数学模型的可行性与有效性。

**关键词** 体系贡献度;数据包络分析法;指标体系;评估方法

武器装备在武装力量中可以用于火力打击、电子对抗、保障作战等行动。它包括以杀伤敌方有生力量,破坏敌方设施的各种主战装备、配套辅助的技术保障装备以及以技术保障与后勤保障等功能为主的各种装备等。武器装备往往根据一定的组织编制、任务使命等组成各组分系统,并以一定的规则组合协同,形成一个体系。武器装备体系评估的核心问题是分析武器装备作战性能与体系作战效果之间的逻辑关系,并计算各组分系统对最终形成的武器装备体系的贡献度。

现如今武器装备体系评估方法主要分为4大类。1) 主观或客观赋权法。主观赋权法,其原始数据主要由专家根据经验主观判断得到,如距离综合评价法(即逼近理想解的排序方法, TOPSIS)、德尔菲法(Delphi)、层次分析法(AHP)、模糊综合评判法等;客观赋权法,其原始数据由各指标在被评价单位中的实际数据形成。2) 常规多指标数学合成方法。在常规多指标综合评价中,建立评价指标体系、确定各个评价指标的权及进行无量纲化处理是基础,在此基础上需要建立综合

评价模型,将多指标的评价值进行合成,即通过一定的算式将多个指标对事物不同方面的评价值综合在一起,以得到一个整体性的评价。3) 多元统计方法。它所包括的具体方法比较多,应用范围也比较广泛。在多指标综合评价方面,常见的多元统计方法有主成分分析法(PCA)、因子分析法、TOPSIS法、数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)法等。4) 人工神经网络法。人工神经网络是大量神经元通过极其丰富和完善的联结而构成的自适应非线性动力系统。善于联想、概括、模拟和推理,具有很强的自学习、自组织和自适应能力,善于从大量统计资料中分析提取客观统计规律。

在上述4类方法中,赋权法主观随意性较大,多指标数学合成的方法需要事先对问题有很好的理解,神经网络的方法需要大量的数据。现如今DEA法已经被应用在工业质量评估、绩效考核评估等多个方面。所以本研究选取多元统计方法中的DEA法<sup>[1-3]</sup>。

收稿日期:2018-09-11;修回日期:2018-12-05

作者简介:刘同林(通信作者),高级工程师,研究方向为体系设计、评估、集成、贡献率,电子信箱:ltl2006@126.com

引用格式:刘同林,涂震飏,张虎,等. 基于包络分析的装备体系贡献度评估方法[J]. 科技导报, 2018, 36(24): 44-47; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.24.006

## 1 武器装备体系贡献度

贡献度通常是指底层或局部组件对上层的整体效果或影响的贡献。它主要用于衡量经济和社会领域的发展状况,如分析经济效益时的产出与投入比,并分析各种因素对经济增长的作用等。近年来,在武器装备领域,体系贡献度也越来越多的用于武器装备的评估。主要是研究武器装备系统的技术贡献,研究装备系统的技术贡献主要是分析不同技术对支持系统的具体功能的贡献以及对整个装备系统任务能力的贡献。贡献通常表示为作用于整体效果的效果元素的绝对值或对整体效果起作用的元素的绝对值,如果相对值用于效果,则可以称为贡献率。

评价舰船装备对作战编成的体系贡献度,主要考虑舰船类型或型别变化对体系能力的影响,数量作为类型或型别因素变化的影响结果来考虑<sup>[4]</sup>;现有研究主要是从体系能力需求满足度方面对武器装备体系进行评估<sup>[5-9]</sup>,分别通过陆军、海军、炮兵等不同部队的武器装备体系作战框架,对其体系作战能力进行评估<sup>[10-14]</sup>,或通过功能链的陆军师级武器装备体系作战能力进行评估<sup>[15]</sup>。

综上所述,体系贡献度是将评估对象对体系内各系统作战能力以及整个体系作战能力的影响作用或涌现效应量化。从内涵上可以分为需求满足度与效能提升度<sup>[16]</sup>这两方面。

1) 需求满足度。作战体系中各子系统或能力要素之间相互影响。这种影响关系尤其在紧耦合情况下表现的尤为明显,贡献者对于受益者而言具有唯一性,即离开贡献者所提供的支持,受益者无法完成任务,如情报系统提供的目标指示能力,武器系统必须依赖情报系统提供的目标信息才能实施精确打击。在这种情况下,贡献者的体系贡献度可由受益方的需求来衡量,即可将体系贡献度定义为贡献者(如情报系统)所提供的支持满足受益方(如武器系统)需求的程度,也可称为需求满足度,可用于作战体系内各系统的相互贡献度评估。

2) 效能提升度。一般来讲,作战体系由具有各种能力的武器装备、信息系统等构成,新型武器系统加入到作战体系后,会使原有的体系作战能力在原有基础上发生变化,这种情况下,贡献者的体系贡献度可以由

作战效能的提升程度来衡量,即可将体系贡献度定义为由于贡献者(武器装备)的使用而使原有体系作战能力(作战效能)的提升程度,评估的基础是作战效能,通过对武器装备使用前后作战效能的变化进行对比分析,可以获得武器系统的体系贡献度。

## 2 基于DEA的武器装备体系贡献度评估模型与步骤

### 2.1 DEA法

DEA法<sup>[17-18]</sup>是著名运筹学家、美国德克萨斯大学教授Charnes, Cooper及Rhodes于1978年提出的一种效率评价模型,简称CCR模型。DEA是线性规划模型的应用之一,其主要思想是通过数学规划(包括线性规划、多目标规划、广义最优化、半无线规划、随机规划等)模型,评价具有多个输入、多个输出的决策单元(简称DMU)间的相对有效性。

DEA法的基本原理是通过DMU中的投入、产出进行分析确定有效生产前沿面,再根据每个DMU的观测值与生产前沿面的距离,求出各个DMU的相对效率水平。

### 2.2 CCR模型

假设有 $n$ 个DMU,每个DMU有 $m$ 种投入和 $s$ 种产出,CCR模型相关符号表示如表1所示。

表1 CCR模型相关符号

符号	含义
$x_{ij}(i=1, \dots, m, j=1, \dots, n)$	第 $j$ 个DMU的第 $i$ 种投入
$y_{oj}(o=1, \dots, s, j=1, \dots, n)$	第 $j$ 个DMU的第 $o$ 种产出
$v_i(i=1, \dots, m)$	第 $i$ 种投入权值
$u_o(o=1, \dots, s)$	第 $o$ 种产出权值
$X_j=(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$	决策单元 $j$ 的输入向量
$Y_j=(y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T$	决策单元 $j$ 的输出向量
$u=(u_1, u_2, \dots, u_m)^T$	输入权值向量
$v=(v_1, v_2, \dots, v_s)^T$	输出权值向量

定义决策单元 $j$ 的效率评价指标:

$$h_j = u^T Y_j / v^T X_j, \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

评价决策单元 $j_0$ 的效率模型:

$$\max \left( \frac{u^T Y_{j_0}}{v^T X_{j_0}} \right)$$

$$s.t. \begin{cases} \frac{u^T Y_j}{v^T X_j} \leq 1, \quad 1, 2, \dots, n \\ u = (u_1, u_2, \dots, u_m)^T \geq 0 \\ v = (v_1, v_2, \dots, v_s)^T \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

假设模型参数  $n=5, m=2, s=3$ , 则有原始输入数据如表 2 所示。

表 2 CCR 模型投入产出数据

In	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	Out
⇒ 1	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	
⇒ 2	$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	$x_{24}$	$x_{25}$	
	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	$y_{14}$	$y_{15}$	⇒ 1
	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$	$y_{24}$	$y_{25}$	⇒ 2
	$y_{31}$	$y_{32}$	$y_{33}$	$y_{34}$	$y_{35}$	⇒ 3

### 3 算例分析

某武器装备体系贡献度指标由 5 个指标组成, 采用符号  $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5$  来表示, 当前有 6 种装备方案。

设计输入  $X_1, X_2$ , 输出  $Y_1, Y_2, Y_3$  为定性属性, 采用模糊评价, 利用 1~5 之间的整数对其进行量化, 对应关系如表 3 所示。则 6 个武器装备方案的投入和产出的原始指标值表述如表 4 所示。

表 3 模糊指标量化

差	中	良	优	最优
1	2	3	4	5

表 4 武器装备体系贡献度数据

$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$
2	1	2	3	2
3	3	2	3	5
3	4	5	2	2
4	5	4	2	1
3	4	4	3	2

利用公式(1)与公式(2)计算可得武器装备体系贡献度的相对效率值  $h_j$ 。

! 代码 1 (Lingo)

```

model:
sets:
    union/1..5/;           !决策单元;
    weight/1..2/:v,u;     !输入权重,输出权重;
    var(weight,union):x,y; !输入变量,输出变量;
endsets
data:
    N=20;
    x=2 1 2 3 2
        3 3 2 3 5;
    y=3 4 5 2 2
        4 5 4 2 1;
enddata
max=@sum(var(i,j)|j#eq#N:u(i)*y(i,j))/@sum(var(i,j)
    |j#eq#N:v(i)*x(i,j));
@for(union(j):@sum(weight(i):(u(i)*y(i,j)))/@sum(weight(i):
    (v(i)*x(i,j)))<=1);
@for(weight:u>0.0001);
@for(weight:v>0.0001);
end
    
```

具体计算过程可由代码 1 (Lingo) 计算可得, 武器装备体系贡献度的相对效率值为:  $h_{j1}=0.9803, h_{j2}=1.0000, h_{j3}=1.0000, h_{j4}=0.8549, h_{j5}=0.7682$ 。

由有效性分析可知, 武器装备体系贡献度因素 2 与武器装备体系贡献度因素 3 是有效的。考虑相关因素, 设置阈值为 0.9, 可以得到武器装备体系贡献度因素 1、2、3 对作战体系贡献度更为重要。

### 4 结论

体系贡献度是衡量被评武器装备在体系作战中所发挥重要作用的重要指标。装备体系贡献度的评估能为装备发展论证、作战试验开展以及作战使用保障提供有效的理论支持。DEA 法主要思想是通过数学规划模型, 评价具有多个输入、多个输出的决策单元间的相对有效性。将 DEA 法应用到武器装备体系贡献度的评估中, 能有效的将多个属性的体系贡献度量并比较各个属性的重要与否, 克服了人的主观臆断, 使评估结果更加准确、可信, 对难以完全量化系统的武器装备体系贡献度评估提供了新的解决思路与具体方法。

## 参考文献(References)

- [1] 叶芳羽, 单汨源, 韩之俊, 等. 基于马田系统与数据包络分析的工业运行质量评价研究[J]. 管理学报, 2018(5): 767-773.
- [2] 曾已泷, 李若蕾. 基于数据包络分析的军事运输方式选择研究[J]. 国防交通工程与技术, 2012(6): 43-45.
- [3] 常琦. 基于数据包络分析法的山东省科技投入绩效评价研究[D]. 济南: 山东大学, 2017.
- [4] 李炜, 张恒, 王玮. 评价舰船装备体系贡献度的一种方法[J]. 舰船科学技术, 2015, 37(10): 1-5.
- [5] 程贲, 姜江, 谭跃进, 等. 基于证据推理的武器装备体系能力需求满足度评估方法[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(11): 2210-2216.
- [6] 程贲. 基于能力的武器装备体系评估方法与应用研究[D]. 北京: 国防科学技术大学, 2012.
- [7] 李志淮, 谭贤四, 王红, 等. 基于DoDAF能力视角的武器装备体系评估方法[J]. 装备学院学报, 2012, 23(4): 121-125.
- [8] 魏继才, 张静, 杨峰, 等. 基于仿真的武器装备体系作战能力评估研究[J]. 系统仿真学报, 2007(21): 5093-5097.
- [9] 欧阳海波, 李朋飞, 赵海龙, 等. 基于灰色AHP法的武器装备体系作战能力评估[J]. 现代计算机, 2011(23): 7-10.
- [10] 刘毅勇, 江敬灼. 部队武器装备作战能力评估的指标体系[J]. 军事系统工程, 1994(4): 6-10.
- [11] 赵志强. 陆赵志强, 黄柯棣. 陆军武器装备体系作战能力评估框架研究[C]//2009系统仿真技术及其应用学术会议论文集. 安徽: 中国自动化学会系统仿真专业委员会, 2009: 3.
- [12] 郑建华, 黎放, 狄鹏, 等. 海军武器装备体系作战能力评估模型研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2009, 31(2): 314-317.
- [13] 罗鹏程, 傅攀峰, 周经伦. 武器装备体系作战能力评估框架[J]. 系统工程与电子技术, 2005(1): 72-75.
- [14] 陈敏雅, 喻中华. 炮兵武器装备体系作战能力评估研究[J]. 兵工自动化, 2010, 29(9): 18-20, 24.
- [15] 张明梅. 基于功能链的陆军师级武器装备体系作战能力评估[D]. 北京: 国防科学技术大学, 2014.
- [16] 常雷雷. 装备技术体系成熟度与满足度评估方法研究[D]. 北京: 国防科学技术大学, 2014.
- [17] 吴德胜. 数据包络分析若干理论和方法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2006.
- [18] 马占新. 数据包络分析模型与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

## Evaluation method of equipment system contribution based on envelope analysis

LIU Tonglin<sup>1,2</sup>, TU Zhenbiao<sup>1,2</sup>, ZHANG Hu<sup>1,2</sup>, LÜ Yuanjian<sup>1,2</sup>

1. Science and Technology on Complex System Control and Intelligent Agent Cooperation Laboratory, Institute of the Third Academy, China Aerospace Science and Industry Corporation, Beijing 100074, China
2. Beijing Electro-Mechanical Engineering Institute, Beijing 100074, China

**Abstract** The evaluation of the equipment system contribution can provide effective theoretical support for equipment development demonstration, combat test development and operational use guarantee. This paper mainly analyzes the conceptual connotation of the contribution degree of weapon equipment system, summarizes the existing methods of equipment system evaluation, constructs an evaluation index system of weapon equipment system contribution, and gives the contribution of weapon equipment system based on envelope analysis method. Degree evaluation models and steps, case evaluation and verification analysis are given, respectively. The research work has verified the feasibility and effectiveness of the mathematical model, as well as provides strong theoretical support for decision makers to make choice of equipment.

**Keywords** system contribution; envelope analysis; indicator system; evaluation method ●



(责任编辑 徐丽娇)