

【武器装备】

基于 DEA 的装甲装备使用阶段 RMS 评价技术

何成铭,李文鹏,冯 靖

(装甲兵工程学院,北京 100072)

摘要:将数据包络分析(DEA)技术用于装甲装备使用阶段可靠性、维修性、保障性(RMS)水平评价,构建了面向“投入—产出”的装甲装备使用阶段 RMS 评价指标体系,并通过增加虚拟决策单元的方式来解决多个决策单元(DMU)同时有效而 RMS 水平难以区分的问题。给出了基于 DEA 的装甲装备使用阶段 RMS 评估实例,并针对 DMU 的不同意义对评估结论做了适当的扩展。

关键词:DEA;装甲装备;RMS;评价

中图分类号:TH16

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2010)11-0066-03

开展装备使用阶段 RMS 评价工作是了解装备使用阶段 RMS 状况的重要途径。目前常用的 RMS 评估方法如层次分析、模糊综合评判、灰色关联度分析等在确定权重上都直接或间接依赖于专家的估计^[1-2],所给出的权重往往因专家自身知识结构和保守程度的不同而带有较强的主观性,致使最终的评价结果蒙上了主观性色彩;小波网络、贝叶斯网络、BP 神经网络等具有学习功能的网络模型法虽较为客观,但却需要大量的样本来训练网络以确保精度,从而使其应用受到限制。DEA 作为一种相对评价方法,其优点之一是权重的确定依赖于数据本身,更为客观;其二,不需要用于学习训练的样本,且当对多个对象进行评价时,评价的效率更高。

1 DEA 的基本原理及虚拟决策单元分析

DEA 是由 Charnes 和 Cooper 于 1978 年以“相对效率”概念为基础首次提出的,通常被用于具有相同结构的 DMU 之间的相对效率评价工作,通过 30 多年的发展,目前已经社会、经济、管理等具有“多输入—多输出”特性的系统中获得了广泛的应用。

1.1 DEA 基本原理

DMU(DMU)即评价对象^[3],假设现有 n 个 DMU 参与评价,每个 DMU 有 m 个输入指标, s 个输出指标,则其中第 j 个 DMU 的输入、输出可分别表示为:

$$x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})$$

$$y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})$$

现又设输入、输出指标的权重分别为: $V = (v_1, v_2, \dots, v_m) > 0$, $U = (u_1, u_2, \dots, u_s) > 0$, 则第 j 个 DMU 的效率评价指数为

$$h_j = \frac{u^T y_j}{v^T x_j} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

h_j 越大,表明第 j 个 DMU 能以较小的输入获得较多的输出,效率就越高。

DEA 中第一个广泛应用的模型为 CCR 模型,其以第 j 个 DMU 效率为目标,以全部 n 个 DMU 的效率为约束建模,模型为

$$\begin{cases} \max h_{j_0} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0}} \\ \text{s. t. } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \\ v = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T > 0 \\ u = (u_1, u_2, \dots, u_s)^T > 0 \end{cases} \quad (2)$$

使用 Charnes-Cooper 变化,并引入松弛变量 s^+ 和剩余变量 s^- ,然后在采用对偶变换,则式(2)可转化为如下的线性规划模型

$$\begin{cases} \min \theta \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j + s^+ = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j - s^- = y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ s^+ \geq 0, s^- \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中:即为 DMU_j 的效率,是优化的目标函数; λ 是拉格朗日乘数。求解模型(3):

当 $\theta=1$,且 $s^+=0, s^-=0$ 时, DMU 为DEA有效, DMU 的生产活动为综合有效,即投入和产出达到最佳匹配。对应装甲装备使用阶段RMS评价,为在现有使用、维修和保障水平下,相比其他 DMU, DMU_j 的RMS综合水平最佳,也即可认为装备发挥了自身最佳的综合技术性能。

当 $\theta<1$ 时, DMU_j 为DEA无效,即存在输入冗余或输出不足。对应装甲装备使用阶段RMS评价,一方面表明与其他 DMU 相比, DMU_j 的使用阶段RMS水平有提高的余地;另一方面,在保持现有RMS水平的前提下,可以优化关于装备使用、维修、保障等方面的投入。

当 $\theta=1$,但松弛变量 s^+ 和剩余变量 s^- 至少有1个不为0时, DMU 为弱DEA有效,此时 DMU_j 不需要通过同比减少输入或增加输出来提高效率,但某些局部指标却存在冗余或不足。对应装甲装备使用阶段RMS评价,为性比其他 DMU, DMU_j 的RMS综合水平虽最佳,但却可以在保持现有RMS水平的前提下,优化关于装备使用、维修、保障等方面的投入。

1.2 虚拟决策单元分析

DMU_j 是否有效是相对全部 DMU 而言的,对于多个 DMU 同时有效的情况,如何解决同为DEA有效的 DMU 之间的效率比较是难点问题之一。

目前最常见的解决上述问题的方法为超效率分析,其基本思想为:将DEA有效的全部 DMU 分离出有效前沿面组成新的评价对象集并重新进行评价,也即其需要先后2次评价,这对于某些仅以排序为目的评价来说显然效率不高。拟采用虚构 DMU 的方法来解决上述问题,虚构的 DMU 称为“虚拟决策单元”,是评价过程中出于某种目的为虚构而事实上却并不存在 DMU 。基本思想为:取各 DMU 输入的最小值、输出的最大值构建虚拟 DMU ,然后再采用传统的CCR模型对这 $(n+1)$ 个 DMU 进行评价。

理论上虚构的虚拟 DMU 的效率必定为1,即在所有的 DMU 中效率最高,为绝对有效,且当虚拟 DMU 各指标的取值并非取自同一 DMU 时,原 DMU 效率必定不高于新增绝对有效的虚拟 DMU 的效率。因此,虚拟决策单元的引入势必起到降低原决策单元效率、增加原决策单元间区分度的作用。

2 面向“投入—产出”的装甲装备使用阶段RMS指标体系

选择评价指标本质上是细化和分解评价目标的过程。装甲装备使用阶段RMS评价指标的选择应在综合考虑装甲装备的任务需求、使用要求、结构特点、国内外类似装备的基础上进行^[4-5]。在此,本研究仅从研究的角度出发选取最常用和最具有代表性的RMS评价指标平均故障间隔时间、平均修复时间、工具备品附件综合满足率参与评价,实际中则可根据情况适当添加所关心的指标,以使评价更

有针对性。

长远来说,开展装甲装备使用阶段RMS评价不仅是为了了解当前部署装备的RMS水平,更重要的是“以评促建”和“以评促改”,并最终获得综合效益好的装备,也即尽量使配属的装备在具有较高的使用可用度和完好率水平的同时,寿命周期费用又较低。考虑到DEA尤其适合于具有“多输入—多输出”系统的特性,在此将反映装备使用阶段综合效益的使用可用度、装备完好率作为输出(产出),而将平均故障间隔时间、平均修复时间、工具备品附件综合满足率作为输入(投入),从而构建出面向“投入—产出”的“多输入—多输出”装甲装备使用阶段RMS评价指标体系。

面向“投入—产出”的指标体系的优势在于:默许每个输入都关联到一个或多个输出,与常见的基于“层次分析模型”的指标体系相比降低了对指标间的独立性要求;相比产出要素投入要素一般更容易控制。例如,在所构建的装甲装备使用阶段RMS评价指标体系中,一方面平均故障间隔时间、平均修复时间显然是决定装备使用可用度的因素,另一方面各投入指标又直接对应装备的可靠性、维修性、保障性。

表1 评价指标体系

评价指标	
输入指标	输出指标
平均故障间隔时间 x_1	装备完好率 y_1
平均修复时间 x_2	使用可用度 y_2
工具、备品、附件综合配套率 x_3	年平均使用维修费用 y_3

DEA在经济学中有较明确的解释,通常认为投入较小、产出较大的 DMU 效率较高、效益较好^[6-8]。而在构建的面向“投入—产出”的“多输入—多输出”装甲装备使用阶段RMS评价指标体系中,显然希望输入指标 x_1 和 x_2 取值越大越好。因此,在考虑各指标现实意义的同时应结合DEA的方法特点对评价指标进行类型一致化转化,即将输入指标中的极大型指标转换为极小型,而将输出指标中的极小型指标转换为极大型。需要说明的是转化后的指标只具有经济学上的意义,进行结果分析时应对应进行反转。

3 实例验证

3.1 案例背景

以某型履带式步兵战车为例,选择某团3个装甲营所属九台装备(每营每连随机抽取3台教练车)为评估对象,收集信息并计算各评价对象的各评价指标取值,并对评价指标进行一致化转化,转化后的各指标取值见表2。(由于没有收集到单装年度使用维修费用所对应的信息,因此在此不在考虑,而将其剔除指标体系)

极小(大)型指标 x 向极大(小)型指标 x^* 转化的方法

如下:

$$x^* = M - x$$

或

$$x^* = \frac{1}{x}, (x \neq 0)$$

其中 M 为 x 所允许的一个上界。

在此, M 取比原指标值大一个数量级的有理数的最小值,优点是保证转化后的指标值和原指标值量级一致,方便分析和反转换。

表中: DMU_{10} 为所添加的虚拟决策单元; h_j 为基于 DEA 的各 DMU 的效率值; S 为基于评价结果的各单元的排序。

表2 类型一致化转化表

	DMU ₁	DMU ₂	DMU ₃	DMU ₄	DMU ₅	DMU ₆	DMU ₇	DMU ₈	DMU ₉	DMU ₁₀
x_1	6.36	4.60	6.00	6.42	3.71	6.56	4.41	6.26	4.40	3.71
x_2	1.95	4.60	0.77	1.17	1.07	0.87	1.00	0.78	1.75	0.77
x_3	0.07	0.10	0.03	0.06	0.07	0.03	0.04	0.03	0.05	0.03
y_1	0.94	0.92	0.95	0.90	0.97	0.93	0.94	0.92	0.93	0.97
y_2	0.77	0.73	0.78	0.80	0.82	0.75	0.79	0.77	0.76	0.82
h_j	0.548	0.718	0.951	0.642	1.00	0.915	0.810	0.939	0.781	
S	9	7	2	8	1	4	5	3	6	

3.2 评估结果及结论扩展

采用 DEAP2.1 软件进行计算,采用输出导向型和规模收益不变模式,计算结果见表2。其中 DMU_{10} 为 DEA 有效, DMU_5 为 DEA 弱有效,且9个装甲连所属装备 RMS 水平排序为

$$DMU_5 > DMU_3 > DMU_8 > DMU_6 > DMU_7 > DMU_9 > DMU_2 > DMU_4 > DMU_1$$

一般认为 RMS 为装备自身的固有属性,由上述排序可以从另一方面综合反映出各连装备使用、维修、保养的实际水平高低,可见五连的管理水平最,维护、维修、保养效果最好,装备发挥了自身最佳的 RMS 综合水平和效益。指标取值情况也印证了这一点,在参评的9个连中五连装备的装备完好率和使用可用度最高,平均故障间隔时间最长、平均修复时间和配套率处于中上等水平,较之其他连队水平整体较优。

采用同样方法,也可对该团在营级别上进行基于 DEA 的使用阶段 RMS 水平评估,过程略,结果如下: $DMU_2^* > DMU_3^* > DMU_1^*$ 。可见3个营中装甲二营装备的使用阶段 RMS 综合水平最优。

结论扩展:

1) 假设上述9个 DMU 分别代表9种不同型号的装甲装备,则由上述排序可知各型装备使用阶段 RMS 水平的优劣比较。

2) 假设上述9个 DMU 分别代表9个不同年度。则上述顺序反映了某型装备年度 RMS 水平的变化情况。

3) 假设上述9个 DMU 分别代表9个不同的装甲团所属的同一型号装备,则由上述排序可区分各团装备在使用中的 RMS 水平比较,结合各团装备的使用环境差异、维护和保养差异,也可分析出装备使用、维护、保养的有益结论。

4 结束语

针对常用评价方法的不足,尝试采用 DEA 技术进行装甲装备使用阶段 RMS 水平的评价。实例证明基于 DEA 的评价方法适于对同等规模的装甲部队所属装备进行使用阶段 RMS 水平评价,且方法具有较强的通用性。

参考文献:

- [1] 杜栋,庞庆华,吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京:清华大学出版社,2008.
- [2] 覃波. 基于 DEA 模型的我国物流企业经营效率评价研究[D]. 长沙:中南大学,2007.
- [3] 殷梅英. 一种新的 DMU 的评价和排序方法[J]. 东北大学学报:自然科学版,2004,25(8):760-763.
- [4] 何成铭. 某某式履带步兵战车可靠性维修性保障性水平评估研究[R]. 北京:装甲兵工程学院,2010.
- [5] 单志伟. 装备综合保障工程[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- [6] 王学智,刘罕杰,孙正民. 基于 FCA/DEA 的装甲装备基层级维修保障能力评估[J]. 四川兵工学报,2010(3):8-10.
- [7] 裴家宏,刘长秦,冯添乐. 基于 DEA 法的通用装备保障训练绩效评估[J]. 四川兵工学报,2009(11):110-112.
- [8] 胡贵强. 多目标优化的遗传算法及其实现[J]. 重庆文理学院学报:自然科学版,2008(5):12-15.