

doi: 10.7690/bgzdh.2013.03.008

基于 DEA 模型的防化装备保障方案综合评价方法

顾进, 晏国辉, 张宏远

(中国人民解放军防化学院防化装备系, 北京 102205)

摘要: 为了完善防化装备研制阶段的保障方案, 提出一种基于数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)的评价方法。采用及时性、部署性和经济性 3 类输出参数确定了保障方案的输入输出指标, 构建了防化装备保障方案的 DEA 评价模型, 选用 Vb-DEA 作为计算工具, 对 DEA 的基本模型实现求解, 并对某防化装备的保障方案进行了评价。评价结果表明, 该方法为在研制阶段准确评价防化装备保障方案提供了一种可行的方法。

关键词: DEA 模型; 防化装备; 保障方案; 综合评价

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Comprehensive Evaluation Method of Chemical Defense Equipment Support Plan Based on DEA Model

Gu Jin, Yan Guohui, Zhang Hongyuan

(Department of Chemical Defense Equipment, Chemical Defense Institute of PLA, Beijing 102205, China)

Abstract: A data envelopment analysis (DEA) method was developed to improve chemical defense equipment support plan in development phase. Use 3 output parameters, such as timeliness, deploy ability and economy to confirm input and output index of support plan, establish DEA evaluation of chemical defense equipment support plan. Use Vb-DEA as calculation tool to realize resolving of DEA basic model and evaluate certain type chemical defense equipment support plan. The evaluation results show that the paper provided an accurate method to evaluate the chemical defense equipment support plan in development phase.

Key words: DEA model; chemical defense equipment; support plan; comprehensive evaluation

0 引言

防化装备具有种类多、结构复杂和技术含量高等特点, 在制定其研制阶段的保障方案时, 须逐步进行完善并逐渐细化。由于在装备论证和方案阶段往往要制定多个备选保障方案, 然后对方案进行评价, 从中选择最优的方案, 以保证装备的完好性目标和降低装备寿命周期费用。

数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)是著名运筹学家 A.Charnes 和 W.W.Copper 等学者以“相对效率”概念为基础, 根据多指标投入和多指标产出对相同类型的单位进行相对有效性分析的一种新的系统分析方法^[1]; 因此, 作者基于 DEA 方法, 计算保障方案的保障效率指数, 评价保障方案是否有效, 获得所关心的特定保障方案的有效性系数, 以此来评价保障方案的优劣。

1 评价方法的选择

用 DEA 方法对保障方案进行评价具有以下优势:

1) DEA 可以对多输入多输出的系统进行评价。

2) DEA 各决策单元各输入输出的权重为变量, 从最有利于决策单元的角度进行评价, 避免了确定各指标在优先意义下的权重。DEA 最突出的优点是无须任何权重假设, 每一输出输入的权重不是根据评价者的主观认定, 而是由决策单元的实际数据求得的最优权重, 避免了人对评价参数的主观偏好。

用 DEA 方法对保障方案进行评价的基本思想是: 保障方案规划了装备的保障工作, 包含了装备保障过程中可能面临保障过程的一般说明, 从本质上讲就是规定了装备在使用各阶段应该提供保障资源的种类、数量和方式, 通过在研制阶段对保障资源进行合理规划, 从而使装备的保障要求得到满足, 并达到最优。一个系统可以看成是一个单元在一定的范围内, 通过投入一定数量的生产要素并产出一定数量“产品”的活动。虽然这些活动的具体内容不相同, 但其目的都是尽可能地使这一活动取得最大的“效益”。这样的单元称为决策单元(decision making units, DMU)。显然, 每个保障方案就是一个 DMU, 符合 DMU 的基本特征:

1) 具有相同的目标和任务。制定保障方案的目

收稿日期: 2012-09-21; 修回日期: 2012-10-30

作者简介: 顾进(1984—), 男, 安徽人, 硕士, 助教, 从事防化装备保障研究。

的是为了从总体上描述装备的保障工作, 建立保障资源与具体保障工作之间的联系。

2) 相同的外部环境。保障方案的外部环境可以理解为现役装备的保障系统和装备配发部队后可能面临的使用条件。

3) 数据的可获得性。保障方案的输入和输出可以通过方案和工程研制阶段专家对保障方案的分析 and 装备试用中的实际数据获取^[2]。

2 评价模型

2.1 选择 DMU, 确定保障方案的输入输出指标

数据包络分析法中的“输入”表示系统的耗费, “输出”表示系统在消耗了“输入”后的“成效”; 因此, 对于一个评价系统, 输入越小越好, 而输出越大越好, 符合保障方案的制定原则。

根据保障方案的特点, 可确定输入参数是各种保障资源: 人力和人员, 保障设备, 训练和训练保障, 技术资料, 计算机资源保障, 保障设施, 储存和运输, 消耗器材及能源, 分别用 v_1, v_2, \dots, v_8 表示。保障方案的最终目的是构建装备的保障系统, 保障装备在使用过程中得到充分的保障, 根据保障系统的评价原则, 笔者采用及时性、部署性、经济性 3 类输出参数, 分别用 u_1, u_2, u_3 表示。

及时性是保障系统时间特性的反映。在制定保障方案的过程中, 必须对保障系统一旦开展任务能否快速开展任务、开始执行任务后能否快速完成等因素进行考虑。

部署性是一类与保障密切相关的特性, 反映了保障系统的机动灵活能力, 取决于保障方案、所需保障资源的种类数量和运送方法, 与所部署的保障资源的包装要求、装卸要求、运输要求、安装和操作设备所需人员数量以及补给的量等因素密切相关。

经济性要求保障方案考虑用尽可能少的费用满足保障系统功能的能力。保障方案的设计一方面要满足保障功能要求, 另一方面受经济条件的制约。保障方案的经济性反映装备在使用过程中的保障活动的耗费, 一旦装备开始投入使用, 就要按照保障方案的要求在使用过程中为装备执行任务提供保障; 因此, 保障方案的经济性是对保障方案进行评估的重要指标。

2.2 输入输出指标值的确定

采用 DEA 模型对保障方案进行评价时, 对输

入输出指标的量纲没有限制, 所以在参数指标的确定中可以采用定量指标, 比如人力和人员中的使用人员数量, 训练和训练保障中的平均训练时间。也可以用定性指标, 如技术资料、储存和运输等, 对于定性指标可以根据情况确定评判标准, 然后由专家组成的评定小组对各项指标进行确定。防化装备保障方案的输入输出指标表 1 所示。

表 1 保障方案输入输出参数

资源种类	评价标准	输出指标	评价标准
人力和人员	操作人员数量	及时性	由低到高
保障设备	特殊保障设备数量	部署性	由低到高
训练和训练保障	所需训练时间	经济性	由低到高
技术资料	必须的技术资料种类	—	—
计算机资源保障	由少到多	—	—
保障设施	特殊保障设施种类	—	—
储存和运输	难易程度	—	—
能源	能源的种类	—	—

及时性、部署性、经济性是保障方案输出的特性, 是由保障方案制定的科学程度决定的, 它的定量值可由专家集体决策得出, 每个指标的计算公式如式 (1):

$$a_j = \sum_{i=1}^n (a_{ji}) / n \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

式中: n 为评委的数量; m 为评价指标总数; a_j 为第 j 个指标的平均值; a_{ji} 为第 i 个评委给第 j 个指标权数的打分值。

2.3 DEA 的基本模型

随着 DEA 的发展, 出现了针对不同问题的众多模型, 对于文中的研究来说, 由于研制阶段的保障方案的评价本身的结构不涉及复杂的多层次系统, 只是应用了 DEA 本身最基本的性质, 即只要评价其相对效率, 找出最优的保障方案, 所以应用最基本的模型即可完成评价工作, 所以笔者只研究 DEA 中基本的 C^2R 模型的求解过程。

设 DMU 在一项生产活动中的输入向量为 $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$, 输出向量为 $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_s)^T$ 。设有 n 个 $DMU_j (1 \leq j \leq n)$, 则某个 DMU_j 对应的输入、输出向量分别为:

$$\mathbf{X}_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T \quad (2)$$

$$\mathbf{Y}_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T \quad (3)$$

式中:

$$x_{mj} > 0, y_{sj} > 0$$

即每个决策单元有 m 种类型的“输入”以及 s 种类型的“输出”。在对每个 DMU 进行评价时,

x_{mj}, y_{sj} 是已知量, 需要评价者根据实际情况确定^[3]。

由于各输入输出指标在系统中的地位与作用不同, 因此要对 DMU 进行评价, 首先要对它的输入和输出进行“综合”, 给予每个输入、输出恰当的权重, 用以平衡输入输出指标的地位的不同^[4], 如图 1 所示。

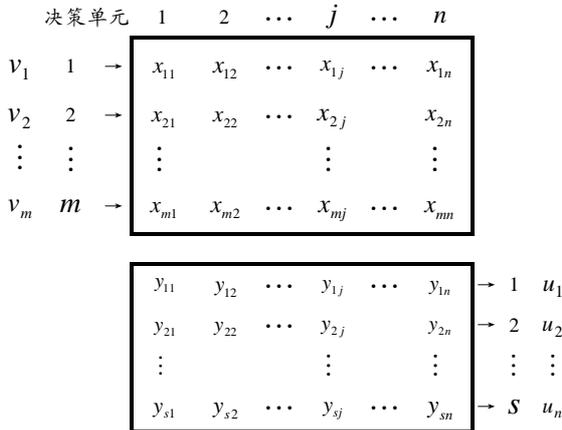


图 1 n 个 DMU 的输入输出

图中, x_{ij} 为第 j 个决策单元对第 i 种输入的投入量, $x_{ij} > 0 (i=1, 2, \dots, m)$; y_{rj} 为每 j 个决策单元对第 r 种输出的产出量, $y_{rj} > 0 (r=1, 2, \dots, n)$ 。

DEA 评价方法的特点是: 由于在对输入、输出量之间的信息结构了解较少或者它们之间的相互代替性比较复杂时, 确定权重往往带有很强的主观意志性, 这里并不事先给定输入、输出的权向量: $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T, u = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T$, 而把他们看作变向量, 再根据算法规定的某种原则去确定^[5]。

根据输入输出效率的概念, 对于每个决策单元 DMU _{j} 都有相应的效率评价指数, 如式 (4):

$$h_j = \frac{u^T y_j}{v^T x_j} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

对于上式, 总可以选取适当的 u 和 v , 使得 $h_j \leq 1$ 。对第 j_0 个决策单元进行效率评价时, h_{j_0} 越大, 表明 DMU _{j_0} 能够用相对较少的输入得到相对较多的输出。如果要对 DMU _{j_0} 进行评价, 判断 DMU _{j_0} 在这 n 个 DMU 中相对来说是不是最优的, 可以考察当权重变化时, h_{j_0} 的最大值空间是多少。以第 j_0 个决策单元的效率指数为目标, 以所有决策单元 (含第 j_0 个决策单元) 的效率指数为约束, 就构造出如下的 C²R 模型, 如式 (5):

$$(P) \begin{cases} \max h_{j_0} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0}} \\ \text{s.t.} \quad \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad (j=1, 2, \dots, n) \\ v = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T \geq 0 \\ u = (u_1, u_2, \dots, u_m)^T \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

对上式进行对偶变换, 并引入非阿基米德无穷小量 (non-Archimedean) ϵ , 即可变换为以下规划问题, 如式 (6):

$$(D_\epsilon) \begin{cases} \min [\theta - \epsilon(\hat{e}^T s^- + e^T s^+)] = V_{D_\epsilon} \\ \text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n x_j \lambda_j + s^- = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j - s^+ = y_0 \\ \lambda_j \geq 0, (j=1, 2, \dots, n) \\ s^- \geq 0, s^+ \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中: $\hat{e}^T = (1, 1, \dots, 1) \in E^m, e^T = (1, 1, \dots, 1) \in E^s, s^+$ 为松弛变量, s^- 为剩余变量。

通过求解上式, 可以得到 n 个 DMU 的 θ^0 的值, 用下述定理就可以对 n 个保障方案进行排序。

- 1) 若 $\theta^0 = 1$, 则决策单元 j_0 为弱 DEA 有效;
- 2) 若 $\theta^0 = 1$, 并且 $s^- = 0, s^+ = 0$, 则决策单元 j_0 为 DEA 有效。

3 模型求解

从上面的分析可以看出, 求解 DEA 模型的过程实际上是求解线性规划最优解的过程, 但用常规求解线性规划的方法将难以达到要求, 因为 DEA 模型是严重退化的, 舍入误差必须着重考虑, 在利用非阿基米德无穷小量的 DEA 模型中, 这种影响将更加严重。由于篇幅所限, 笔者不对 DEA 模型的具体求解过程进行说明, 只利用目前比较成熟、科学的算法对模型进行计算。

由于模型的求解过程复杂, 因此编写 DEA 程序使用计算机对模型求解是重要途径。目前, 已有一些 DEA 模型运算的商业软件, 但一般难以获得 Windows 环境下的 DEA 程序的原始代码, 无法针对具体情况对程序的算法进行控制和改进。通过调研, 目前国内有代表性的运算软件有: 北京大学的

成刚等人基于 Access VBA 开发的 DEA 分析软件 MyDEA for Data Envelopment Analysis、基于 Matlab 软件的 Matlab-DEA 和内蒙古大学的马占新教授开发的 Vb-DEA。其中, Vb-DEA 的程序考虑了舍入误差、退化等一系列影响 DEA 程序求解的重要因素, 可以实现对 DEA 基本模型的求解。笔者在对这 3 种软件进行分析比较的基础上, 优选 Vb-DEA 作为计算工具。

4 实例分析

4.1 模型建立

在实际操作中, 定量指标是保障方案中的具体设计指标, 而定性指标则根据专家的打分数据求得。需要注意的是, 采用 DEA 方法进行评估, 并不需要对输入的值进行初始化操作, 输入值的量纲、上限等均可以不同, 极大提高了评价的灵活性。

例如某防化装备的 5 个保障方案, 通过对保障方案 A 需求的保障资源的分析, 可确定其输入向量:

$$X_A = (x_{1A}, x_{2A}, \dots, x_{8A})^T = (5 \ 3 \ 15 \ 6 \ 5 \ 6 \ 4 \ 3)^T$$

表 3 Vb-DEA 计算结果

方案	结果											
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S+1	S+2	S+3	效率值 V
方案 A	2.866 7	0	5.733 3	2.866 7	2.866 7	3.822 2	2.866 7	0.955 6	0.922 2	0	0.144 4	0.955 6
方案 B	2.800 0	0	2.800 0	2.800 0	0.933 3	3.733 3	1.866 7	0.933 3	0.933 3	0.000 0	0.066 7	0.933 3
方案 C	0.674 5	1.011 8	0.337 3	0.337 3	2.023 5	0	1.686 3	2.023 5	0	1.105 9	0.594 1	0.674 5
方案 D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.000 0
方案 E	2.000 0	5.000 0	0.000 0	2.000 0	4.000 0	5.000 0	4.000 0	3.000 0	0.300 0	0.000 0	0.200 0	1.000 0

从计算结果中可以看出, 方案 D 和 E 都满足 $\theta^0=1$ 的条件, 且方案 D 满足 $s^{-0}=0, s^{+0}=0$; 因此可以判断方案 D 为有效, 方案 E 为弱有效, 而 A、B、C 3 种方案为相对无效, 说明方案 D 为最优的保障方案, 方案 E 为次优, A、B、C 3 种方案最差。

5 结束语

笔者根据防化装备保障方案特点, 提出了防化装备保障方案的输入输出指标, 并建立了基于 DEA 的综合评价模型, 最后进行了案例分析, 结果验证了模型的合理性和科学性, 为防化装备研制

输出指标是在专家对保障方案进行具体分析后, 从及时性、部署性、经济性 3 个方面给出的分值, 然后可根据式 (1), 得到保障方案 A 输出指标:

$$Y_A = (y_{1A}, y_{2A}, y_{3A})^T = (7.2 \ 8.6 \ 7.5)^T$$

同理可确定方案 B、方案 C、方案 D 和方案 E 的输入输出指标值, 如表 2 所示。

表 2 保障方案输入输出指标

评价指标	方案 A	方案 B	方案 C	方案 D	方案 E	
输入 指标	人力和人员	5	5	4	2	4
	保障设备	3	3	6	3	8
	训练和训练保障	15	12	14	9	9
	技术资料	6	6	5	3	5
	计算机资源保障	5	3	6	2	6
	保障设施	6	6	3	2	7
	储存和运输	4	3	4	1	5
	能源	3	3	6	2	5
输出 指标	及时性	7.2	7.0	8.6	8.5	8.2
	部署性	8.6	8.4	8.0	9.0	9.0
	经济性	7.5	7.4	7.5	8.0	7.8

4.2 计算结果及分析

将上述指标数值代入模型, 运用 Vb-DEA 模型的计算工具进行计算, 可得评价结果, 如表 3 所示。

阶段确定最佳的装备保障方案提供了切实可行的技术手段。

参考文献:

- [1] 李美娟, 陈国宏. 数据包络分析法(DEA)的研究与应用[J]. 中国工程科学, 2003, 5(6): 88-94.
- [2] 张希猛. 基于模糊评判的电子对抗装备技术保障能力评估[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(3): 25.
- [3] 马占新. 数据包络分析模型与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [4] 魏权龄. 数据包络分析[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [5] 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.