

文章编号:1000-6788(2006)04-0021-06

基于 DEA 模型的部队编制方案评价

王三喜¹, 屈洋², 黄建明¹, 孙文纪²

(1. 南京陆军指挥学院, 江苏 南京 210045; 2. 蚌埠坦克学院, 安徽 蚌埠 233013)

摘要: 建立评价优选部队编制方案的 DEA 模型, 该模型测算了各备选编制方案的总体效率、技术效率、规模效率等状况, 对非 DEA 有效的编制方案提出了使其达到 DEA 有效的途径, 给出了各备选编制方案的初排序. 在此基础上, 通过比较各有效备选编制方案平均横切效率的大小, 得到所有备选编制方案的终排序. 并就部队编制方案制定, 提出了若干建议供决策部门参考.

关键词: 运筹学; 数据包络分析; 编制方案; 横切效率

中图分类号: O221; TP39

文献标识码: A

Evaluation of Organizational Structure Scenarios Based on DEA Model

WANG San-xi¹, QU Yang², HUANG Jian-ming¹, SUN Wen-ji²

(1. Nanjing Army Command Academy, Nanjing 210045, China; 2. Bengbu Tank Academy, Bengbu 233013, China)

Abstract: In order to evaluate the efficiency of Organizational Structure Scenarios aright and reasonably, the author calculated the total efficiency, technological efficiency, scale efficiency of all scenarios using Data Envelopment Analysis model, got initial sequent of all scenarios. Some feasible ways are put forth for ineffective scenarios to make them effective. Final sequent is got by comparing mean transverse efficiency of all scenarios. Some useful advices on the organizational structure scenarios are also achieved, which is valuable to make decisions for some decision-making department.

Key words: operation research; data envelopment analysis (DEA); organizational structure scenarios; mean transverse efficiency

1 引言

编制方案是部队的组织系统、机构设置和主要装备编配方案, 其核心是武器装备资源的优化配置. 由于武器装备资源的多样性、组合的随机性, 以及作战目标的不确定性, 要对制定出的部队备选编制方案做出合理、正确的评价, 并最终采取最优的编制方案实属困难, 该问题一直成为制约论证人员以及部队发展的一个难题^[1,2]. 然而部队编制方案的优劣决定着部队作战能力的高低. 部队的作战能力主要体现在火力突击、指挥控制、快速反应、防护、综合保障等多个方面, 而这些能力主要是由不同编制方案下所含的装备类型、数量和结构所决定. 如果以不同编制方案下所含的武器装备类型、数量等因素作为评估模型的输入, 以各种作战能力指标实现值作为输出, 对编制方案进行评估优选, 这属于一个多输入、多输出的决策问题.

针对多输入、多输出问题, DEA (Data Envelopment Analysis, 即数据包络分析) 是一种比较有效的分析方法, 因此, 本文将 DEA 理论和模型应用于部队编制方案评价, 为该问题的解决提供一条有效的途径.

2 评价优选的整体思路

部队定编之前通常要进行编制方案论证, 制定出多种备选编制方案, 这些方案对应着不同的武器装备组合(数量和质量). 而不同的编制方案在实际作战中通常显现出不同的作战能力. 此时若把不同的武器装

收稿日期: 2005-01-13

资助项目: 总参军训和兵种部武器装备科研立项项目(CJB04-TY-001)

作者简介: 王三喜(1978 -), 河南孟州人, 硕士, 讲师, 研究方向: 部队作战效能评估, E-mail: wang3c@163.com; 屈洋(1964 -), 江西九江人, 教授, 硕士生导师, 研究方向: 军事运筹学; 黄建明(1971 -), 河南开封人, 博士研究生, 研究方向: 合同战术.

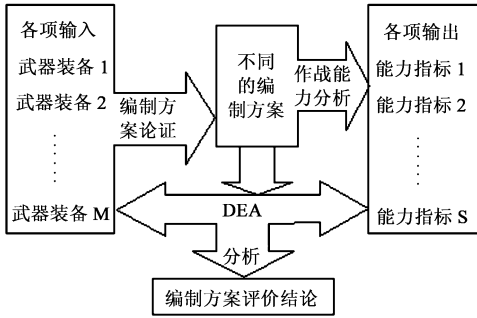


图1 部队编制方案 DEA 分析逻辑框图

备组合作为各项输入,将其对应的作战能力实现值作为各项输出,便可对不同的编制方案做 DEA 分析,进而对各编制方案进行合理的评价,得出各方案的优劣排序.这即是本文所用 DEA 理论进行编制方案评价的基本思路.其逻辑结构图可表示为图 1.

3 DEA 方法

DEA 是由著名运筹学家 A. Charnes 和 W. W. Cooper 等提出和创建的.它是对若干同类型的具有多输入、多输出的决策单元 (Decision Making Unit, 简称 DMU) 进行相对效率与效益方面比较的一种有效方法.它以某一系统中的实际决策单元为基础,建立

在决策单元的“Pareto 最优^[3,4]”概念之上,这种方法不需要预先设定边界函数的形式,也不需要通过统计的方法估计函数中的各个参数,只需将观测值以边界方式用包络加以分析,并利用数学规划模型求解这一边界,确定系统的效率前沿面,得到各个决策单元的相对效率以及规模效益等方面的信息,进而分析决策单元是否为 DEA 有效,从而判断各个单元输入、输出的合理性、有效性.其相应的 C^2R 、 C^2GS^2 、 C^2WH 、 C^2W 等模型已经成为管理科学与系统工程领域一种重要而有效的分析工具.

3.1 编制方案评价的 DEA 模型

设有 n 个备选编制方案 $DMU_j, j = 1, 2, 3, \dots, n$. 各编制方案分别有 m 项输入和 s 项输出, (X_j, Y_j) 为第 j 个编制方案对应的输入、输出指标向量集 ($j = 1, 2, \dots, n$), 则输入向量 $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$, 输出向量 $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T$. 因此, 当第 q 个编制方案 DMU_q 所对应的输入、输出指标向量集为 (X_q, Y_q) 时:

3.1.1 可以建立评价该编制方案总体效率的具有非阿基米德无穷小的 C^2R 模型:

$$\begin{cases} \max(u^T Y_q) \\ \text{s.t.} & X_j - u^T Y_j = 0, j = 1, 2, \dots, n \\ & X_q = 1 \\ & \begin{matrix} \cdot e_1^T, u^T & \cdot e^T \end{matrix} \\ e_1^T = (1, 1, \dots, 1) & E_m, e^T = (1, 1, \dots, 1) & E_s \\ & \text{为非阿基米德无穷小} \end{cases} \quad (1)$$

模型(1)中: $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)$ 和 $u = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_s)^T$ 分别是对应于输入和输出的权值向量(影子价格). 其对偶规划模型为:

$$\begin{cases} \min[- \cdot (e_1^T S^- + e^T S^+)] \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1}^n X_j + S^- = \cdot X_q \\ & \sum_{j=1}^n Y_j - S^+ = Y_q \\ & v_j = 0, j = 1, 2, \dots, n; S^+ = 0, S^- = 0 \\ e_1^T = (1, 1, \dots, 1) & E_m, e^T = (1, 1, \dots, 1) & E_s \\ & \text{为非阿基米德无穷小} \end{cases} \quad (2)$$

假设模型(2)最优解为 v^*, S^{*-}, S^{*+}, u^* , 根据文献[2~4]有如下结论:

$v^* = 1$, 且 $S^{*-} = 0, S^{*+} = 0$, 则 DMU_q 为 DEA 有效, 即在这 n 个编制方案组成的系统中, 在原输入 X_q 的基础上所获得的输出 Y_q 已经达到最优;

$v^* = 1$, 且 $S^{*-} > 0$ 或 $S^{*+} > 0$ 时, 则 DMU_q 为弱 DEA 有效. 即在这 n 个编制方案所组成的系统中, 对于输入 X_q 可以减少 S^{*-} 而保持原输出 Y_q 不变, 或在输入 X_q 不变的情况下可将输出提高 S^{*+} ;

当 $v^* < 1$ 时, 则称 DMU_q 为 DEA 无效, 即在这 n 个编制方案组成的系统中, 可以通过组合将输入

降至原投入 X_q 的 θ^* 比例而保持原输出 Y_q 不减;此时若令 $X_q = (1 - \theta^*) X_q + S^- \theta^*$, $Y_q = S^+ \theta^*$, 还可以获得改善 DMU_q 有效性的基本途径:即 X_q 减少 S^- , 同时将其输出 Y_q 增加 S^+ , 这样 DMU_q 为 DEA 有效;

若 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 成立, 则 DMU_q 为规模效益不变;若 $\sum_{j=1}^n \lambda_j < 1$, DMU_q 为规模效益递增;若 $\sum_{j=1}^n \lambda_j > 1$, DMU_q 为规模效益递减.

3.1.2 可以建立评价编制方案纯技术效率的具有非阿基米德无穷小的 C^2GS^2 模型:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min [\theta - \epsilon_1^T S^- + \epsilon^T S^+] \\ \text{s. t.} \\ \sum_{j=1}^n X_{j,j} + S^- = \theta \cdot X_q \\ \sum_{j=1}^n Y_{j,j} - S^+ = Y_q \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n; S^+ \geq 0, S^- \geq 0 \\ \epsilon_1^T = (1, 1, \dots, 1) \quad E_m, \epsilon^T = (1, 1, \dots, 1) \quad E_s \\ \text{为非阿基米德无穷小} \end{array} \right. \quad (3)$$

该模型计算出的效率是纯技术效率,反映 DMU 的纯技术效率情况. 设模型(3)的最优解为 θ^* , S^{+*} , S^{-*} , λ^* , 根据文献[2~4]有如下结论:

- 若 $\theta^* = 1$, 则 DMU_q 为弱 DEA 有效(纯技术);
- 若 $\theta^* = 1$, 且 $S^{-*} = 0, S^{+*} = 0$, 则 DMU_q 为 DEA 有效(纯技术).

3.1.3 编制方案纯规模效率的计算公式为:

$$s^* = \frac{\theta^*}{\theta^*}. \quad (4)$$

根据 DEA 的理论, 总体效率 θ^* 、纯技术效率 θ^* 、纯规模效率 s^* 三个参数之间存在(4)所述的关系. 由式(4)所述的关系, 可以直接计算编制方案的纯规模效率.

3.2 有效方案的排序

采取 DEA 方法的上述经典模型能够有效的从所有备选方案中剔除非有效方案, 并能够说明非有效方案的原因和程度. 但如何对多个 DEA 有效的备选方案进行排序, 经典的模型并未能给出优选的方法和途径^[1,5]. 因为编制方案 DEA 有效的充要条件是总体效率值为 1 且无输入输出松弛, 若从输入、输出着手, 无法区别有效编制方案谁优谁劣^[5]. 但从另一个角度出发, 不是选择“最有利于该编制方案”的权重, 而是选择最有利于其余编制方案的权重, 其效率值就未必为 1, 有效单元的差别性就显现出来了. 若称模型(1)计算出的该编制方案的效率 $E(u^T Y_q)$ 为简单效率, 而将选择最有利于其余编制方案的权重条件下该编制方案的有效称之谓为横切效率^[5] $E_{qj}(u_j^T Y_q)$, 这样, 对于每一个编制方案, 都具有一个简单效率和 $n - 1$ 个横切效率. 得到 $n - 1$ 个横切效率之后求出其平均值, 就可得到该方案的平均横切效率(在实际计算时, 通常只需对所有有效的单元进行计算, 求出平均横切效率即可). 对每个有效方案的平均横切效率进行比较, 即可得到有效编制方案的排序.

4 x部队编制方案评价优选

4.1 确定评价指标体系

结合数据包络分析方法的特点与要求, 我们选择较能反映 x 部队建设的评价指标^[1]:

输入指标体系: 1) 步兵战车; 2) 装甲输送车; 3) 坦克; 4) 榴弹炮; 5) 高炮; 6) 火箭炮; 7) 防空导弹; 8) 反坦克导弹.

输出指标体系: 1) 指挥控制能力; 2) 快速反应能力; 3) 火力突击能力; 4) 防护能力; 5) 综合保障能力.

表1 四种备选方案的原始数据

方案		一	二	三	四
作战能力指数	步兵战车	25154.3	36182.5	28830.3	18380.3
	装甲运输车	4341.0	5135.9	4943.2	3420.1
	坦克	197415.4	118341.4	197415.4	89004.7
	榴弹炮	26311.5	28039.8	25304.5	25382.5
	高炮	6009.5	6454.5	6009.4	6758.4
	火箭炮	9280.8	10274.8	9798.8	9714.8
	防空导弹	3803.9	3303.9	3303.9	2697.9
	反坦克导弹	5094.0	6112.8	5094.0	4780.0
输入值	指挥控制能力	55379.5	58583.9	56235.1	62622.9
	快速反应能力	59224.3	73229.8	70293.9	78278.6
	火力突击能力	83069.2	84875.8	84352.6	93934.3
	防护能力	41534.6	43937.9	42176.3	46967.2
	综合保障能力	17689.7	29291.9	28117.5	31311.4

4.2 获得各指标值

由于不同的编制方案所对应的武器装备组合中所含的武器装备型号、性能、数量、质量均不尽相同,我们通过作战效能指数方法^[6]消除他们之间的差别,具体计算过程参见文献[1].对于作战能力的实现值,我们可以通过作战模拟系统、能力分析系统或者专家评判等方法获得^[6,7],本文中的输出指标值,我们通过某作战模拟系统^[7]直接获取.

表1给出了4种备选编制方案的各输入、输出指标值.

4.3 DEA模型评估的实施

根据表1的数据,分别采用模型1)、2)、3)计算各方案的总体效率 θ^* 、纯

技术效率 θ^* 、然后按照4)计算规模效率 s^* ,具体结果见表2.

表2 DEA效率与规模效益计算结果

分析指标	方案一	方案二	方案三	方案四	分析指标	方案一	方案二	方案三	方案四
θ^*	0.989106	0.977006	1	1	μ_1	0	0	0	0
θ^*	1	1	1	1	μ_2	0	0	0	0
s^*	0.989106	0.977006	1	1	μ_3	0	7.18165×10^{-8}	0	0.0000112354
S_1^-	1877.6	14761.5	0	0	μ_4	0	0	3.59147×10^{-6}	0
S_2^-	244.225	1302.76	0	0	μ_5	0.000153276	0.000153614	0.000151283	0
S_3^-	52224.6	0	0	0	μ_6	0.00000085	0	0	0
S_4^-	2203.35	2958.1	0	0	μ_7	0	0	0	0
S_5^-	0	0	0	0	μ_8	0	0	0	0
S_6^-	0	654.281	0	0	μ_1	0.0000178605	0	0	0
S_7^-	894.128	461.359	0	0	μ_2	0	0.0000133433	0	0
S_8^-	372.498	1279.79	0	0	μ_3	0	0	0.000011855	0.0000106457
S_1^+	0	0	0	0	μ_4	0	0	0	0
S_2^+	10000.1	0	0	0	μ_5	0	0	0	0
S_3^+	0	3000	0	0	μ_j	0.940185	0.963594	1	1
S_4^+	0	0	0	0	规模效益	递增	递增	不变	不变
S_5^+	10000	0	0	0	初排序	3	4	1	1

注:表2中的 $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ 分别为各输入、输出的出的权值向量(影子价格),由模型1)求得; $S_1^-, S_2^-, S_3^-, S_4^-, S_5^-, S_6^-, S_7^-, S_8^-$ 分别为模型2)的约束条件中各松弛变量的数值; μ_j 为模型2)变量 $\lambda_j (j=1, 2, 3, 4)$ 的和,根据其值可以判断DMU的规模效益状况. θ^* 根据模型3)求得, s^* 由(4)式求得,初排序为仅考虑 θ^* 时各方案的排序.本文模型均采用 Wolfram Research Mathematica5.0 求解.

4.4 结果分析

4.4.1 效率分析

由表2我们可以看出,四个方案均为纯技术效率有效($\theta^* = 1$),说明四个方案均凝结了论证人员大量的智慧和辛勤劳动,均达到了纯技术有效.但总体效率有效($\theta^* = 1$)的方案仅有两个,分别是方案三和方案四,说明在现有的作战运用条件下,处在编制方案总体效率有效前沿面上的编制方案为方案三和方案

四. 这些结果可以作为论证部门评价编制方案效率的重要参考依据.

4.4.2 编制方案在前沿面上的投影和影子价格分析

根据 DEA 理论,非 DEA 有效的编制方案在前沿面上的投影是 DEA 有效的. 我们可以适当调整非 DEA 有效的编制方案输入、输出数值使其达到 DEA 有效.

以方案二为例进行分析. 要使其达到 DEA 有效,应当缩减其相应的输入值,即步兵战车减少 $(1 - 0.977006) \times 36182.5 + 1877.6 = 15593.5$,装甲输送车减少 $(1 - 0.977006) \times 5135.9 + 1302.76 = 1420.85$,坦克减少 $(1 - 0.977006) \times 118341.4 + 0 = 2721.14$ 、榴弹炮减少 $(1 - 0.977006) \times 28039.8 + 2958.1 = 3602.85$,高炮减少 $(1 - 0.977006) \times 6454.5 + 0 = 148.415$,火箭炮减少 $(1 - 0.977006) \times 10274.8 + 654.281 = 890.54$,防空导弹减少 $(1 - 0.977006) \times 3303.9 + 461.359 = 537.329$ 、反坦克导弹减少 $(1 - 0.977006) \times 6112.8 + 1279.79 = 1420.35$,同时增加输出值:即火力突击能力增加 3000,其它能力输出值不变. 方案二的各输入、输出影子价格分别为: $\mu_3 = 7.18165 \times 10^{-8}$, $\mu_5 = 0.000153614$, $\mu_2 = 0.0000133433$,其余全部为 0. 影子价格为 0 表明单独降低这些输入中的任何一项或者增加输出指标的一个数值不影响其 DEA 效率. 输入项中高炮影子价格 $\mu_5 = 0.000153614$,在所有编制方案的高炮影子价格中居于首位,说明高炮对该编制方案效率影响较大. 快速反应能力的影子价格为 $\mu_2 = 0.0000133433$,说明增加快速反应能力值可以带动方案二效率的增长. 因此,方案二的改进策略为尽可能降低高炮指数,争取提高部队的快速反应能力. 对于方案一也可做类似的分析. 限于篇幅,此处略.

4.4.3 规模效益分析

从表 2 中给出了各编制方案的规模效益状况,方案三和方案四处于规模效益不变阶段,方案一和二处于规模效益递增阶段. 这说明对于方案一和方案二对应的编制方案可以适当的进行扩大.

4.4.4 最终方案的排序

对于方案三和方案四,由于均为有效单元,对于他们的排序,我们可以采取文中 3.2 所述的方法进行. 此时:

方案三相对于方案四的横切效率为:

$$\mu_4^T Y_3 = (0, 0, 0.0000106457, 0, 0)^T \\ (56235.1, 70293.9, 84352.6, 42176.3, 28117.5) = 0.897992.$$

方案四相对于方案三的横切效率为:

$$\mu_3^T Y_4 = (0, 0, 0.000011855, 0, 0)^T \\ (62622.9, 78278.6, 93934.3, 46967.2, 31311.4) = 1.11359.$$

$\mu_4^T Y_3 < \mu_3^T Y_4$,所以方案四为最优方案.

因此,四个备选方案的总排序为:

方案四 > 方案三 > 方案一 > 方案二.

5 结束语

本文将 DEA 应用于部队编制方案评估优选领域,取得了较好的效果. 在实际应用时,我们通常还会遇到决策单元的个数过少的问题,此时,我们可以通过采取所谓的“窗口技术”^[8]进行解决. 在此,我们不再赘述. 总之,DEA 方法在部队编制方案的评价优选方面不失一种有效可行的方法,必将有着广阔的应用前景.

参考文献:

- [1] 王新华,等. 陆军轮式装甲车辆发展需求论证研究报告[R]. 总参兵种部武器装备科研立项课题,2002.
Wang Xinhua, et al. Army armor vehicle developing-require-argument research report[R]. The General Staff Department, 2002.
- [2] 李明,刘澎. 武器装备发展系统论证方法与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2000.
Li Ming, Liu Peng. Application and Method of System Demonstrate for Weapon and Equipment Developing[M]. Beijing: National Defense Industry Publishing House, 2002.

- [3] 魏权龄. 评价相对有效性的 DEA 方法——运筹学的新领域[M]. 北京:中国人民大学出版社,1988.
Wei Q L. DEA Method to Evaluate the Opposite Efficiency - New Realm of Operation Research[M]. Beijing: Chinese People 's University Publishing House ,1988.
- [4] 盛昭翰,朱乔,吴广谋. DEA 理论方法与应用[M]. 北京:科学出版社,1996.
Sheng Zhaohan ,Zhu Qiao ,Wu Guangmou. Theory and Application of DEA[M]. Beijing: Science Publishing House , 1996.
- [5] 罗小明,等. 武器装备计划采购方案 DEA 评估模型研究及应用[A]. 联合作战与军事系统工程,2004,11.
Luo Xiaoming. Research and application of DEA evaluation model[A]. Combined Operations and Military Systems Engineering , 2004 ,11.
- [6] 王寿云,徐学文. 现代作战模拟[M]. 北京:科学出版社,2002.
Wang Shouyun ,Xu Xuewen. Modern War Simulation[M]. Beijing: Science Publishing House ,2002.
- [7] 王三喜. 装甲团对岛上阵地防御之敌进攻作战能力分析硕士论文[D]. 石家庄陆军指挥学院,2003,06.
Wang Sanxi. Analysis on operational efficiency of the armed regiment in assaulting position defense enemy combat on island[D]. Shijiazhuang Army Command Academy ,2003 ,06.
- [8] 李宗元,等. 运筹学 ABC[M]. 北京:经济管理出版社,2000.
Li Zongyuan ,et al. Operations Research ABC[M]. Beijing: Economical Management Publishing House ,2000.
- [9] 孙静春,李怀祖. DEA 模型中生产可能性集合的包含关系[J]. 系统工程理论与实践,2002,6:45 - 53.
Sun Jingchun ,Li Huaizu. The contains relations of production possibility gathers in the DEA model[J]. Systems Engineering - Theory & Practice ,2002 ,6 :45 - 53.
- [10] 王新宇. 基于 DEA 模型的城市百货零售企业经营效率评估[J]. 系统工程,2001,1:56 - 60.
Wang Xinyu. An evaluation of production efficiency of the city retail sales enterprises based on data envelopment analysis model[J]. Systems Engineering ,2001 ,1 :56 - 60.
- [11] 莫剑芳,叶世绮. DEA 方法在区域经济发展状况评价中的应用[J]. 系统工程,2001,2:18 - 21.
Mo Jianfang ,Ye Shiqi. The application of DEA method for evaluating the development of region economics [J]. Systems Engineering , 2001 ,2 :18 - 21.
- [12] Halme M, et al. A value efficiency approach to incorporating preference information in data envelopment analysis[J]. Management Science ,1999 ,45(1) :103 - 104.