基于博弈交叉效率 DEA的装备设计方案评审

王 科 魏法杰

(北京航空航天大学 经济管理学院, 北京 100191)

摘 要: 基于数据包络分析构建了可以处理效益型、成本型和固定型 3种类型指标的多属性综合评价方法. 通过引入交叉效率以使评价对象自评与互评相结合,解决了数据包络分析用于多属性综合评价时评价标准不一致的问题;在此基础上,通过引入博弈交叉效率,采取在其它评价对象提升自身效率的同时,被评对象也不断改善效率的策略,弥补了数据包络分析用于多属性综合评价时评价结果不唯一的缺陷,并提升了评价结果的区分度和合理性. 通过算例对该方法进行了验证,并将该方法应用于装备设计方案评审,结果表明其能够较好的解决方案的评价排序和择优问题.

关 键 词: 数据包络分析; 多属性综合评价; 交叉效率; 博弈交叉效率; 设计方案评审

中图分类号: N 949

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2009)10-1278-05

Game cross efficiency DEA based project review of equipment design

Wang Ke Wei Fajie

(School of Economics and Management, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: The multiple attribute comprehensive evaluation models which could deal with three types of index(benefit, cost, fixed) were constructed based on data envelopment analysis(DEA). The cross efficiency concept was introduced to link the self-evaluation with peer-evaluation of decision making unit(DMU) for solving the problem that optimal weights of the DEA based multiple attribute comprehensive evaluation model are non-uniform. A new game cross efficiency concept was combined with the DEA based model to deal with that optimal weights of the DEA based model are non-unique. The game cross efficiency concept, in which each evaluated DMU is seeking to maximize its own efficiency under the condition that the cross efficiency of the other DMU does not deteriorate, enhanced the discrimination and rationality of the evaluation results. The DEA based model was validated by a numerical example and was applied to the project review of equipment design which indicates that the method is efficient in solving the project evaluation, rank and selection problems.

Key words: data envelopment analysis; multiple attribute comprehensive evaluation; cross efficiency; game cross efficiency; project review of equipment design

多属性综合评价是指将反映评价对象多方面属性的评价指标信息加以汇总,从整体上对被评对象进行合理公正的评价,它必须包含多个评价指标以构成一个指标体系,确定每个指标权重并选择适当的评价模型以集结评价信息,最终获得评价结论. 数据包络分析 (DEA, Data Envelopment Analysis)是评价决策单元 (DMU, Decision Making Unit)相对有效性的一种较好的非参数方法. DEA既可以对评价指标进行赋权,又提供了将评价信息集结的途径. DEA赋权机理属于数据差异驱动的客观赋权,能较好的避免主观赋权中赋权结果主观随意性大且易受评价者知识经验缺乏影响的弊端. DEA的信息集结过程不需要对输入输出数据进行无量纲化处理,减少了综合评价的复杂程度. 因而 DEA也被视为一种较好的多属性综合评价方法[1-4],在企业、学校、医院和银行等机构的

收稿日期: 2008-11-30

作者简介: 王 科 (1983-),男,北京人,博士生, wangkebuaa@sem.buaa.edu.cn.

绩效评价中已被广泛采用.但目前运用 DEA进行多属性综合评价的研究还存在不少缺陷. 文献[3]在探讨将 DEA用于多属性综合评价时为简化问题,只考虑了效益型指标,将其视为 DEA的输出,而没有在模型中涉及成本型输入指标. 文献[4]将成本型指标视为输入,将效益型指标视为输出,利用 DEA对评价对象进行了多属性综合评价,但模型没有考虑在综合评价中经常遇到的固定型指标的处理. DEA评价时采取自我评价的观点,即每个 DMU都会寻找对自己最有利的权重,不同的 DMU所采用的权重不同,造成利用 DEA进行多属性综合评价时的标准不一致. 文献[5]提出的交叉效率(cross efficiency)采取自我评价和相互评价结合的观点,较好的解决了这一问题,也为利用 DEA进行多属性综合评价提供了前提. 但文献[6-7]指出,由于计算交叉效率的原始 DEA模型产生的权重可能不唯一,影响评价结果的可信性,因而还需要引入二级目标函数以对权重加以限制. 文献[6,8]给出了多种形式的二级目标函数,不同的函数可视为不同的赋权策略. 关于交叉效率模型的最新研究成果是文献[9]中给出的博弈交叉效率(game cross efficiency)模型,该模型采用了在提升其它每一个 DMU的效率值的同时,也使当前被评 DMU的效率值不断改善的策略,所获得的效率值较文献[6,8]中的效率值更为合理.

本文首先利用 DEA构建多属性综合评价模型,然后通过引入博弈交叉效率方法解决评价对象赋权不一致和不唯一的问题,最后将该模型运用于装备设计方案评审.

1　DEA多属性综合评价模型构建

利用 DEA构建多属性综合评价模型时首先要解决 DEA中输入和输出与综合评价中的效益型指标和成本型指标的对应关系问题. 根据文献[10]中 DEA有效与多目标规划 Pareto有效等价的定理,以及 DEA效率是生产系统投入产出比这一实质,可知应将成本型指标视为 DMU的输入,将效益型指标视为 DMU的输出,而对于固定型指标(指标值非越大越好或越小越好,而是与某一固定值越接近越好),则考虑其指标值与固定值之差的绝对值越小越好,可将其视为输入指标.

利用 DEA构建多属性综合评价模型时,可将每个评价对象视为一个 DMU,设 n个 DMU中第 j个 DMU的输入和输出向量分别为 $X_j=(x_{1j},\cdots,x_{m_1j},x_{m_1+1j},\cdots,x_{mj})^{\mathrm{T}}$和 $Y_j=(y_{1j},\cdots,y_{sj})^{\mathrm{T}}$,其中前 m_1个输入为成本型指标,第 m_1+1到第 m个(设共有 m_2个)输入为固定型指标,设其对应的固定值向量为 $c=(c_{m_1+1},\cdots,c_m)^{\mathrm{T}}$. 基于 CCR模型可以得到如下 DEA多属性综合评价模型:

$$\left.\begin{aligned}
&\max\ h_d=\sum_{r=1}^{s}u_r y_{rd}\\
&\mathrm{s.t.}\ \sum_{i=1}^{m_1}v_i x_{ij}+\sum_{i=m_1+1}^{m}v_i(|x_{ij}-c_i|)-\sum_{r=1}^{s}u_r y_{rj}\geq 0\\
&\sum_{i=1}^{m_1}v_i x_{id}+\sum_{i=m_1+1}^{m}v_i(|x_{id}-c_i|)=1\\
&u_r,v_i\geq 0\qquad r=1,\cdots,s\\
&i=1,\cdots,m\qquad j=1,\cdots,n
\end{aligned}\right\}\quad(1)$$

其中,v_i和 u_r分别是与输入和输出对应的权重;h_d为 DMU_d的效率值,$h_d=1$对应 DMU为 DEA有效,$h_d<1$对应的 DMU为 DEA无效,h_d值越大对应的评价对象越优.

利用该模型对各评价对象进行综合评价时存在两个缺陷:①该模型只能将评价对象分为 DEA有效和无效两个集合,不同评价对象在同为 DEA有效时得到的效率值均为 1,进而无法对这些属于 DEA有效集合的 DMU进行有效区分和充分排序;②每个 DMU在被评价时都从最有利于自身的角度选取权重,即完全通过自评以使自身效率值最大,不同 DMU选取的权重可能不同,这就使得多属性综合评价的标准不一致,所得评价结论不具有可比性. 文献[5]提出的交叉效率评价方法是对传统 DEA方法的改进和完善,其主要思想是利用一种自评和互评相结合的方法来消除传统 CCR模型单纯依靠自评方法的弊端,该方法可以判断出全局最优的 DMU,从而对所有 DMU进行有效区分和充分排序.

2　博弈交叉效率DEA评价模型改进

2.1　交叉效率 DEA多属性综合评价模型

在具有 m_1个成本型指标和 m_2个固定型指标以及 s个效益型指标的 DEA多属性综合评价模型中,基于 CCR模型,可以将交叉效率定义为

$$E_{dj}=\frac{\sum_{r=1}^{s}u_{rd}^{*}y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m_1}v_{id}^{*}x_{ij}+\sum_{i=m_1+1}^{m}v_{id}^{*}z_{ij}}\qquad d,j=1,\cdots,n\quad(2)$$

其中,$z_{ij}=|x_{ij}-c_i|$;u_{rd}^{*}和 v_{id}^{*}分别为评价第 d个

DMU时所得到的输出和输入对应的权重；E_{dj}为DMU$_j$利用DMU$_d$的权重所得到的交叉效率值，特别的，当$j=d$时，E_{dd}表示DMU$_d$ ($d=1, \cdots, n$)进行自评的效率值. 对于DMU$_j$ ($j=1, \cdots, n$)，将所有E_{dj} ($d=1, \cdots, n$)求平均值，即得到如下的第j个DMU的平均交叉效率：

$$\bar{E}_j = \frac{1}{n}\sum_{d=1}^{n} E_{dj} \qquad j = 1, \cdots, n \tag{3}$$

不同DMU的平均交叉效率值一般不同，根据$\bar{E}_j$ ($j=1, \cdots, n$)的大小可对所有评价对象进行充分排序. $\bar{E}_j$是被评价DMU在自评和互评相结合方法下获得的效率值，在多属性综合评价中做到了评价标准的一致，每个评价对象都获得了相对公平的具有可比性的评价结果. 因此交叉效率DEA多属性综合评价模型较传统的基于CCR模型的多属性综合评价模型具有更好的评价效果.

但由于式(1)所得最优解可能不唯一，导致由式(2)和式(3)所得平均交叉效率值也不唯一，进而影响了交叉效率值的可信度，限制了交叉效率DEA模型的广泛使用. 而两阶段交叉效率模型可有效弥补交叉效率的这一缺陷，模型第1阶段通过传统CCR模型确定各DMU的自评效率值，第2阶段通过引入二级目标函数给出确定的用于计算交叉效率的权重，引入不同的二级目标函数代表了不同的赋权策略. 两种截然相反的策略是仁慈型(benevolent)策略和进攻型(aggressive)策略. 这两种二级目标函数一定程度上可解决交叉效率值不唯一的缺陷，但也可能出现不同DMU得到相同的平均交叉效率值而无法充分排序的问题. 文献[9]以非合作博弈的视角对待DMU，提出博弈交叉效率方法，较好的解决了上述使用交叉效率方法过程中存在的问题. 本文借鉴该方法，构建博弈交叉效率DEA多属性综合评价模型.

2.2 博弈交叉效率DEA多属性综合评价模型

博弈交叉效率值通过如下策略(二级目标函数)实现：除当前被评价DMU$_d$以外的$n-1$个DMU$_j$ ($j\neq d$)各自选择尽可能使自身效率最大的权重，前提是所选择的权重不能使当前被评价DMU$_d$的期望交叉效率值恶化. 该策略不同于前面提到的仁慈型策略，它在保证当前被评DMU期望最优效率不恶化的前提下提升其它每一个DMU的效率值，即在提升其它每一个DMU的效率值的同时，也使当前被评DMU的效率值不断改善. DEA多属性综合评价模型中，可将博弈交叉效率定义为

$$e_{dj} = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_{rj}^{d} y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m_1} v_{ij}^{d} x_{ij} + \sum_{i=m_1+1}^{m} v_{ij}^{d} z_{ij}} \qquad d = 1, \cdots, n \tag{4}$$

其中u_{rj}^{d}和v_{ij}^{d}为模型(5)的最优权重.

$$\left.\begin{aligned} \max \quad & \sum_{r=1}^{s} u_{rj}^{d} y_{rj} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^{m_1} v_{ij}^{d} x_{il} + \sum_{i=m_1+1}^{m} v_{ij}^{d} z_{il} - \sum_{r=1}^{s} u_{rj}^{d} y_{rl} \geq 0 \\ & \sum_{i=1}^{m_1} v_{ij}^{d} x_{ij} + \sum_{i=m_1+1}^{m} v_{ij}^{d} z_{ij} = 1 \\ & \sum_{r=1}^{s} u_{rj}^{d} y_{rd} \geq e_d \\ & \sum_{i=1}^{m_1} v_{ij}^{d} x_{id} + \sum_{i=m_1+1}^{m} v_{ij}^{d} z_{id} \\ & u_{rj}^{d},\ v_{rj}^{d} \geq 0 \qquad r = 1, \cdots, s \\ & i = 1, \cdots, m \qquad l = 1, \cdots, n \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

其中e_d为一参数，其初始值可以取式(3)的平均交叉效率.

模型(5)在最大化DMU$_j$效率值的同时，保证DMU$_d$的效率值不小于给定参数值e_d，即DMU$_d$的效率值不会低于其初始的平均交叉效率值. 对于每一个DMU$_j$，模型(5)都计算n次，每一次针对不同的DMU$_d$ ($d=1, \cdots, n$)的权重u_{rj}^{d}和v_{rj}^{d}，以及参数e_d. 因为对每一个DMU$_d$都有$\sum_{i=1}^{m_1} v_{ij}^{d} x_{ij} + \sum_{i=m_1+1}^{m} v_{ij}^{d} z_{ij} = 1$，所以模型(5)的最优值就是式(4)中所定义的博弈交叉效率值. 设模型(5)的最优解表示为$u_{rj}^{d^*}(e_d)$，则第j个DMU的平均博弈交叉效率值为

$$\bar{e}_j = \frac{1}{n}\sum_{d=1}^{n}\sum_{r=1}^{s} u_{rj}^{d^*}(e_d)\, y_{rj} \tag{6}$$

计算该博弈交叉效率值时，首先通过式(2)和式(3)计算出平均交叉效率$\bar{E}_d$，作为初始参数e_d代入式(5)并求解n次，将所得的最优值通过式(6)计算出博弈平均交叉效率$\bar{e}_d$，并将其视为新的参数e_d，重复上述计算过程直至e_d不再(显著)改进，最终获得的$\bar{e}_d$即为DMU$_d$的博弈交叉效率值. 交叉效率DEA模型中的平均交叉效率$\bar{E}_j$可能不唯一，但根据文献[9]的证明可知，无论初始参数取何种策略下的平均交叉效率值，博弈交叉效率DEA模型中的博弈平均交叉效率$\bar{e}_j$收敛且唯一.

2.3 算 例

以表1所示数据为例说明上述博弈交叉效率

DEA多属性综合评价模型. 表 1中有 6个评价对象,评价指标包括 4个效益型指标 (f_1 ～f_4)、1个成本型指标 (f_5)和 1个固定型指标 (f_6,固定值为 7). 表 1显示了各评价对象 CCR模型下的效率值,利用模型 (1)和式 (3)求得的普通交叉效率值,利用模型 (5)和式 (6)求得的博弈交叉效率值,以及它们的排序. 有 3个评价对象在 CCR模型下的普通效率值都为 1,无法根据该效率值对所有评价对象进行有效区分和充分排序. 而在交叉效率 DEA模型下的交叉效率值各不相同,据此可以对所有评价对象进行有效区分和充分排序. 特别注意到评价对象 F在 CCR模型下效率值为 1,与评价对象 A和 D并列第 1,而在普通型、进攻型和仁慈型交叉效率模型下则排名倒数第 2或最后,分析 F的评价指标值发现, 6项指标中 F有 4项指标劣于或等同于 A, 2项指标优于 A;又 F有 4项指标劣于 D, 2项指标等同于 D,直观判断 F不可能与 A和 D并列第 1,这说明 CCR模型在多属性综合评价中有缺陷,交叉效率模型能较好弥补这一缺陷. 而博弈交叉效率模型下的排序则即兼顾了 CCR模型的结果,又增强了评价区分度,同时还反映了特定评价对象的特点.

表 1　各评价对象的评价指标类型和指标值以及 CCR效率值、交叉效率值和博弈交叉效率值

评价对象	效益型指标				成本型指标	固定型指标	CCR模型		交叉效率模型效率值及排序							
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	效率值	排序	普通型	排序	进攻型	排序	仁慈型	排序	博弈	排序
A	7	6	5	6	7	6	1.0000	1	0.8400	2	0.8274	2	0.9524	2	0.9841	2
B	7	7	7	7	5	9	0.6863	5	0.5753	4	0.5477	4	0.5866	4	0.6424	5
C	8	9	7	7	6	9	0.7500	4	0.6244	3	0.5983	3	0.6955	3	0.7205	3
D	8	6	7	5	2	6	1.0000	1	0.9977	1	0.9722	1	1.0000	1	1.0000	1
E	8	7	7	1	5	9	0.5833	6	0.3789	6	0.3747	5	0.4886	5	0.5296	6
F	5	2	7	1	6	8	1.0000	1	0.3893	5	0.3690	6	0.4176	6	0.6867	4

由前述分析可知,由于交叉效率模型下的效率值可能不唯一,需要通过引入二级目标函数来获取唯一确定的交叉效率值,表 1中进攻型和仁慈型交叉效率模型较好的解决了这一问题. 而平均博弈交叉效率模型则由于采取在提升其它评价对象效率值的同时也使当前评价对象效率值不断改善的策略,因而获得了较交叉效率模型更合理的效率值. 博弈交叉效率 DEA多属性综合评价模型追求各评价单元效率值不断改善的过程如图 1所示,各评价对象效率值都在改善,经过约 8次迭代计算后,效率值 $\bar{e}_j$ (j=A, B, C, D, E, F)不再显著变化,即各评价对象都找到了最优的博弈交叉效率值.

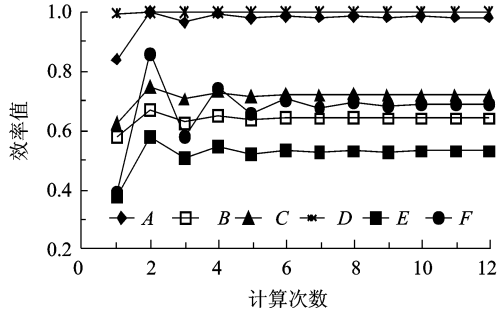


图 1　博弈交叉效率值改善过程

3　实例分析

现代军事装备的研制具有较高的复杂性和风险性,型号产品在方案设计阶段的决策、管理、技术途径的正确与否直接关系到研制任务的成败,方案阶段的设计评审对于保证研制的顺利平稳进行具有重要作用. 作为典型型号产品的飞机,其方案阶段的设计评审是一项非常重要的工作. 下面运用本文构建的博弈交叉效率 DEA多属性综合评价模型对飞机总体设计方案的优劣进行评价.

表 2为飞机总体设计方案评审样本,其中涉及 12个评价对象即备选的总体设计方案, 9个代表总体设计方案各方面性能的指标. 各指标的含义如下. ①任务能力:飞机执行作战任务时达到预期目标的程度,通过对空作战能力和对地作战能力度量,用探测能力、机动能力、攻击能力、突防能力、进入能力、突击能力、纵深能力等参数计算. ②战备完好性:飞机的设计特性与计划的综合保障能够满足飞机平时战备完好性和战时使用要求的程度,通过飞机战备完好率度量,用平均的无故障工作时间、修复时间和后勤延误时间计算. ③战时生存性:飞机躲避或承受敌对环境的能力,通过飞机生存概率度量,用飞机的敏感性和易损性等参数计算. ④安全性:飞机飞行期间连续保持保证飞行任务而无飞行事故的系统和设备处于能工作状态的特性,通过发动机引起的损耗度量,用采购飞机数和发动机引起事故造成飞机损失数计算. ⑤寿命周期费用:在预期寿命周期内为飞机研制、生产、使用和维修保障、退役和报废处置所付出所有费用之和. ⑥技术风险:飞机在一定的研制经费、进度和技术能力条件下所确定的方案无法达到技术性能要求的情况,通过研制失败的概率和

可能的损失度量,用技术的成熟度、复杂度和依赖性参数计算. ⑦总体结构性能:采用飞机结构设计的几何完整性、结构完善性、材料合理性等指标,通过专家评判度量. ⑧动力系统效能:综合采用推力、推重比和耗油率指标计算. ⑨航电系统效能:通过航电系统关键部分的数据总线的利用效能度量,用总线的负载、使用效率和最大延迟时间计算. 其中总体结构性能、动力系统效能、航电系统效能为固定型指标,考虑到这些效能指标并非越高越好,而是在一定研制进度和费用约束下以满足一定的任务能力为准,因此根据飞机研制总要求提出的目标,通过专家评判和计算设定其固定参数分别为 0.7, 0.9, 0.45;任务能力、战备完好性、战时生存性、安全性为效益型指标;寿命周期费用、技术风险为成本型指标.

运用博弈交叉效率 DEA 多属性综合评价方法对 12个飞机总体设计方案评审的评价结果如表 2最后两列所示,其中效率值为利用式 (6)计算得到的平均博弈交叉效率值,由前述分析可知该效率值能较好的代表相应方案的评价结果.

表 2 飞机总体设计方案评审样本及评价结果

方案	效益型指标				成本型指标		固定型指标			评价结果	
	AC	EC	PC	EA	LCC	TR	SP	DP	EP	效率值	排序
1	0.548	0.319	0.286	0.620	0.334	0.275	0.792	0.803	0.339	0.935 0	5
2	0.475	0.741	0.257	0.598	0.952	0.350	0.759	0.759	0.302	0.783 4	9
3	0.863	0.873	0.434	0.883	0.296	0.274	0.692	0.644	0.543	1.000 0	1
4	0.463	0.418	0.486	0.738	0.299	0.984	0.818	0.591	0.361	0.847 7	7
5	0.342	0.735	0.501	0.874	0.485	0.503	0.728	0.900	0.685	0.968 1	3
6	0.872	0.227	0.656	0.483	0.836	0.876	0.584	0.904	0.402	0.990 8	2
7	0.311	0.405	0.499	0.519	0.925	0.916	0.541	0.803	0.193	0.484 6	12
8	0.764	0.697	0.264	0.759	0.491	0.742	0.702	0.508	0.238	0.602 9	11
9	0.695	0.203	0.393	0.821	0.714	0.419	0.652	0.543	0.314	0.610 2	10
10	0.778	0.571	0.300	0.596	0.989	0.920	0.850	0.681	0.442	0.824 3	8
11	0.695	0.867	0.202	0.867	0.372	0.624	0.671	0.711	0.491	0.965 0	4
12	0.864	0.330	0.907	0.632	0.729	0.380	0.826	0.525	0.289	0.914 1	6

注: AC—任务能力; EC—战备完好性; PC—战时生存性; EA—安全性; LCC—寿命周期费用; TR—技术风险; SP—总体结构性能; DP—动力系统效能; EP—航电系统效能.

4 结束语

作为非参数效率评价方法的 DEA,由于具有能进行客观赋权和避免对评价指标进行无量纲化处理等优点,被视为一种较好的多属性综合评价方法,通过引入交叉效率可以使 DEA 评价更加全面和稳健,而博弈交叉效率的引入又实现了评价的唯一性,并进一步提升了评价结果的区分度和合理性. 本文构建的博弈交叉效率 DEA 多属性综合评价模型可以处理效益型、成本型和固定型 3种指标,模型的计算是一个寻求评价结果不断改善的过程,弥补了传统 DEA 方法下评价结果可能有失偏颇以及普通交叉效率 DEA 方法下评价结果可能不唯一的不足. 算例和实例分析结果表明该方法能够有效解决多属性综合评价问题,可以用于多方案的评价排序和择优.

参考文献 (References)

[1] Theodor J S. Relationships between data envelopment analysis and multicriteria decision analysis[J]. Journal of Operational Research Society, 1996, 47(5): 654 - 665

[2] Doyle J, Green R. Data envelopment analysis and multiple criteria decision making[J]. OMEGA, 1993, 21(6): 713 - 715

[3] Bouyssou D. Using DEA as a tool for MCDM: some remarks [J]. Journal of Operational Research Society, 1999, 50(9): 974 - 978

[4] Sarkis J. A comparative analysis of DEA as a discrete alternative multiple criteria decision tool[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 123(3): 543 - 557

[5] Sexton T R, Silkman R H, Hogan A J. Data envelopment analysis: Critique and extensions[C]//Silkman R H. Measuring efficiency: An assessment of data envelopment analysis. San Francisco: Jossey-Bass, 1986: 73 - 105

[6] Doyle J, Green R. Efficiency and cross efficiency in DEA: Derivations, meanings and the uses[J]. Journal of the Operational Research Society, 1994, 45(5): 567 - 578

[7] Despotis D K. Improving the discriminating power of DEA: Focus on globally efficient units[J]. Journal of the Operational Research Society, 2002, 53(3): 314 - 325

[8] Liang L, Wu J, Cook W D, et al. Alternative secondary goals in DEA cross-efficiency evaluation[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 113(2): 1025 - 1030

[9] Liang L, Wu J, Cook W D, et al. The DEA game cross-efficiency model and its Nash equilibrium[J]. Operations Research, 2008, 56(5): 1278 - 1288

[10] 魏权龄. 数据网络分析 (DEA)[M]. 北京:科学出版社, 2004: 26 - 35
Wei Quanling. The data envelopment analysis (DEA)[M]. Beijing: Science Press, 2004: 26 - 35 (in Chinese)

(编 辑:文丽芳)