

数据包络分析方法的研究进展

马占新

(内蒙古大学经济管理学院, 内蒙古 呼和浩特 010021)

摘 要: 首先对近年来 DEA 方法研究的主要成果进行了系统的分析和归纳, 阐述了它的若干重要问题的主要研究进展。同时, 在 DEA 应用方面, 针对实际问题复杂多样、范围广泛以及 DEA 模型本身种类较多等特点, 给出了 DEA 方法的具体工作步骤, 并明确了在每个步骤上应该完成的任务。最后, 提出了 DEA 方法研究中值得关注的几个问题。

关键词: 数据包络分析; DEA 有效; 评价方法

中图分类号: N945 **文献标识码:** A

Research on the Data Envelopment Analysis Method

MA Zhan-xin

(School of Economics and Management, Inner Mongolia University, Huhehot 010021, China)

Abstract: First, the main research results in DEA field are analyzed and summarized, and the research efforts are represented. Secondly, the steps of DEA and the tasks in each step are proposed in view of its complicated objects, large application scopes and various models. Finally, some considerations for future research are represented.

Keywords: Data envelopment analysis; DEA efficiency; Assessment method

1 引言

数据包络分析 (Data Envelopment Analysis, DEA) 是著名运筹学家 A. Charnes, W.W. Cooper 等人提出的一种效率评价方法。它把单输入单输出的工程效率概念推广到多输入多输出同类决策单元 (DMU) 的有效性评价中去, 极大地丰富了微观经济中的生产函数理论及其应用技术, 同时在避免主观因素、简化算法、减少误差等方面有着不可低估的优越性。DEA 方法一出现就以其独有的特点和优势受到人们的关注, 不论在理论研究还是在实际应用方面都得到迅速发展, 并取得多方面的成果, 现已成为管理科学、系统工程和决策分析、评价技术等领域中一种常用而且重要的分析工具和研究手段。为了便于 DEA 方法的进一步研究和应用, 首先对近十多年来 DEA 方法研究的主要成果进行了系统的分类和归纳, 综述了它的若干重要问题的主要研究进展。同时, 在 DEA 应用方面, 由于实际问题复杂多样、范围极其广泛, 而 DEA 模型本身又种类较多, 为了能够建立合理的指标体系、选择恰当的模型并作出客观的分析, 必须首先有一套正确的工作步骤, 这样才能最大限度地发挥 DEA 方法的优势, 并提供更加合理的信息。在已有工作^[3]的基础上, 从系统工程的

工作方法出发, 对这一问题进行了进一步分析。最后, 提出了 DEA 方法研究中值得关注的几个方向。

2 DEA 研究进展

自 1978 年以来, DEA 方法发展极其迅速, 在理论和应用上均产生了较大的影响。这主要表现在以下几个方面。

2.1 DEA 模型的进展

两个最基本的 DEA 模型是 C^2R 模型和 C^2GS 模型。1978 年 A. Charnes 等人以单输入单输出的工程效率概念为基础提出了第一个 DEA 模型—— C^2R 模型, 它是以分式形式给出的。而后, R.D. Banker 等人从公理化的模式出发给出了另一个刻画生产规模与技术有效的 DEA 模型——BCC 模型, 并证明了它与 C^2R 模型具有相同的形式。1985 年 A. Charnes 和 W.W. Cooper 等人针对 C^2R 模型中生产可能集的凸性假设在某些条件下是不合理的, 给出了另一个评价生产技术相对有效的 DEA 模型—— C^2GS 模型。这两个模型的产生不仅扩大了人们对生产理论的认识, 而且也评价多目标问题提供了有效的途径, 使得研究生产函数理论的主要技术手段由参数方法发展成为参数与非参数方法并重。上述两个模型是最基本的 DEA 模型。在此基础上, 又派生出一些新的 DEA 模型, 主要有以下几种类型。

收稿日期: 2000-12-03

修订日期: 2001-05-20

作者简介: 马占新 (1970-), 男, 副教授, 博士后, 主要研究方向为综合评价与决策分析, 系统风险评估, 系统优化的理论、方法及应用, 格论及模糊数学。

(1) 对权重的改进

原始的 DEA 模型对权重无任何限制,它实际上是选取了对被估单元最有利的权重,这样得出的结果可能不符合客观实际,因而,对权数加以研究是人们一直关注的问题。1986年 Charnes 等人给出了一个含有偏好的 DEA 模型—— C^2WH 模型。这一模型通过调整锥比率的方式能够反映人的偏好,从而使决策更能反映人的意愿。由于 C^2WH 模型本身并不直观和具体,因此,针对不同的情况又有许多特殊形式的模型被讨论。例如文献[7]针对权重间具有强序关系或弱序关系的情况,给出了权重弱排序和权重严排序的 DEA 模型。文献[8]根据船型设计的具体特点,给出了 C^2WHL 模型用来评价船型设计的有效方案。

(2) 对输入输出方面的改进

原始的 DEA 模型中对所有的输入输出指标没有任何限制,但在实际问题中它们有时是可控的,有时是不可控的。R.D.Banker 和 R.Morey 于 1989 年提出并研究了能处理既有可控输入(出)又含有不可控输入(出)的 DEA 模型。1995 年刘永清等又给出了要素在有限范围内变化的 DEA 模型。1996 年何静针对评价单元只有输入或输出的情况进行了研究,给出了评价只有输出(入)指标的模型,并讨论了其相关性质。另外,还有人研究过使用类别变量的 DEA 模型^[12]、以序数词作为输入输出变量的 DEA 模型^[13]等。

(3) 对决策单元的改进

原始的 DEA 模型是针对决策单元有限的情况进行讨论的,为了解决具有无限多个决策单元的评价问题,1986 年 Charnes,Cooper 和魏权龄等人利用半无限规划理论将 C^2R 模型推广到具有无限多个决策单元的情况,给出了 C^2W 模型^[14]。实际上 C^2WY 模型和 Banach 空间中的 DEA 模型也是可处理无限多个决策单元情况的 DEA 模型。

(4) 综合 DEA 模型的研究

由于适合于不同需要的 DEA 模型已提出多种,一些新的模型还在不断涌现。那么,对每一模型的基本性质、求解方法等都分别进行讨论,常常会出现一些重复的工作,并且也给编程和使用带来不便。1988 年 Charnes 等人给出了一个综合的 DEA 模型—— C^2WY ,这一模型除包含了两个最基本的 DEA 模型外,还包含 C^2W 模型和 C^2WH 模型。而后,李树根等于 1994 年给出了 Banach 空间中的 DEA 模型,证明了有限空间中的上述模型都是 Banach 空间中的 DEA 模型的特例。这些模型的提出对研究 DEA 模型的一般性质具有重要的意义,但 C^2WY 模型不能直接进行编程计算。因此,文献[17]给出了一个综合的 DEA 模型(ZHDEA)并探讨了其求解方法。这一模型不仅包含了多种常用的 DEA 模型,而且还可以直接编程计算,通过确定一些参数就可以获得一些常用的模型,因此给使用带来了方便。

(5) DEA 模型应用空间的推广

对某些系统用欧氏空间去表示和处理有时会遇到困难。

因此,文献[16]引入了 Banach 空间的 DEA 模型。文献[18]提出了基于 Fuzzy 集理论的 DEA 模型。而后,文献[19]又从偏序集的角度刻画了 DEA 有效单元的本质特征,并推广了 DEA 有效性的概念,给出了 SEA 方法。这一模型不仅是应用偏序集理论对欧氏空间难于处理系统评价的一种尝试,同时也为格论在决策分析中的应用找到了一条有效途径。

此外,还有发展 DEA 模型^[20]、动态 DEA 模型^[21]以及考虑随机因素的 DEA 模型^[22]等。总之,自 1978 年以来,多种派生和专用的 DEA 模型相继诞生。随着 DEA 方法的不断发展,越来越显示出它们的重要地位,并成为系统分析的有力工具之一。

2.2 DEA 相关理论的进展

DEA 理论的发展使人们对 DEA 方法的认识上升到一个新的高度。DEA 理论的进展主要表现为如下。

(1) 对 DEA 有效性的研究

DEA 有效是 DEA 理论中最重要、最基本的概念。由于它在 DEA 理论中的重要地位,因此,对 DEA 有效性问题的研究也较多。首先是对 DEA 有效性的含义以及 DEA 有效单元的结构与特征的认识。例如,1991 年李树根等对 C^2R 模型和 C^2W 模型下的 DEA 有效决策单元集合的结构进行了探讨,给出了一些理论上的结果。而后,文献[24]又把总体有效分解为规模有效、饱和有效和纯技术有效三类,并分析了各种有效的含义。1994 年冯俊文讨论了 C^2R 模型和 C^2GS 模型的 DEA 有效性问题,给出了 DEA 有效(C^2R)及弱有效的一个充要条件,并讨论了一些相关性质。另外,文献[19]还从偏序集的角度刻画了 DEA 有效的本质特征,证明了 DEA 有效单元的本质就是某一个偏序集的极大元。

DEA 有效性与指标及决策单元个数之间的关系密切。文献[26]对指标特性与 DEA 有效性的关系进行了探讨,分析了评价指标增加或指标中存在线性关系时某一决策单元 DEA 有效性变化的规律。文献[27,28]给出了决策单元如何只改变输出使其变为有效的计算方法。魏权龄等分析了决策单元的变更对 DEA 有效性的影响^[29]。

1989 年魏权龄等针对综合 DEA 模型给出了 DEA 有效决策单元集合的几个恒等式^[30],从而使决策单元进行分组评价成为可能。进而使大规模决策单元的评价问题找到了简化的办法。1993 年吴文江给出了寻找 DEA 有效单元的一种新方法。针对以往对有效单元分析较少的情况,赵勇等^[32]还对有效单元进行了进一步探讨。这些工作不仅为我们应用 DEA 方法进行评价时提供了理论依据,同时也增强了 DEA 方法评价的能力。

(2) 数据变换不变性的研究

关于数据变换不变性的研究是 DEA 理论中一个十分重要的问题。它与决策单元的灵敏度分析、发展的 DEA 模型及改变输入输出使决策单元有效等问题具有十分紧密的关系。因而对这一问题的讨论具有十分重要的意义。

文献[33]指出当观测点较少时,对生产函数作线性逼近显得比较粗糙。为此,对数据作了一些调整转换,通过这种转换可将实际前沿生产函数的局部线性逼近改为 Cobb-Douglas 生产函数的局部逼近,从而使得生产前沿面的逼近更能反映生产实际。文献[34]探讨了文献[33]变换的理论依据,得到了数据在正严格保序变换下保持 DEA 有效性不变。在此基础上,文献[35]对数据变换下 DEA 有效性问题进行了探讨,给出了一些基于偏序集理论的变换性质。这些结论将有助于 DEA 方法的进一步应用和拓展。

(3) 灵敏度分析

DEA 方法的灵敏度分析一直是 DEA 理论中一个重要的研究课题。尽管目前线性规划的灵敏度分析已经接近成熟,但通常的线性规划的灵敏度分析不能直接应用于 DEA 方法的灵敏度分析中。因此,1985 年 A.Charnes 等人从构造一个特殊的逆矩阵的观点出发,研究了有效决策单元单个产出变化时的灵敏度分析^[36]。而后,Charnes 和 Neralic 又利用基础解系矩阵对加权 DEA 模型的灵敏度分析问题进行了探讨。1994 年朱乔、陈遥还利用权重分析了 C^2R 模型的稳定性。在这些工作的基础上,1997 年何静等给出了有关决策单元为 DEA 有效(C^2R 或 C^2GS)的充要条件的两个定理,并用它分析了 DEA 的灵敏度问题。杨印生等还研究了带有参数的 C^2R 模型的灵敏度问题^[40]。

(4) DEA 方法与其它方法的比较研究

DEA 方法与其它评价方法的比较研究是一项十分引人注目的工作。1993 年王应明等指出了 DEA 方法、层次分析法、模糊综合评价方法等用于评价工业经济效益的不足,在这些评价方法的基础上给出了一种新的基于权重的评价方法。1998 年王宗军对主要的综合评价方法进行了分析和比较研究,分析了 DEA 方法的弱点在于应用范围仅限于一类多输入多输出对象系统的评价,对有效决策单元所能给出的信息太少,同时还指出尝试将各种综合评价方法综合运用是综合评价的一个研究趋势。

其它方面的成果还有很多,限于篇幅,不再一一列举。

2.3 DEA 应用的进展

DEA 方法是评价多输入多输出同类部门(或单位)间相对有效性的一种重要方法。它的第一个成功应用的案例是对为弱智儿童开设的公立学校项目的评价,在评价过程中选取了像“父母的照顾”等一些不可公度的指标,同时也选取了像“自尊”等一些无形的指标。DEA 方法不仅能对此问题进行评价,而且评价结果能够反映大规模社会实验的结果。DEA 方法在实践中的成功应用,越来越引起人们的重视,使其在许多领域得到了发展。

DEA 方法深刻的经济含义决定了它在经济分析领域中的重要价值。作为评价经济系统相对效率的方法,它与生产函数具有紧密的联系。1989 年魏权龄等介绍了运用 DEA 模型建立生产函数的方法^[43],进而证明了在单一输出的情况

下,DEA 有效曲面就是生产函数曲面^[44]。此外,DEA 方法在阶段 C-D 前沿生产函数和外沿生产函数的估计方面也有研究(参见文献[45,46])。

技术进步与生产函数之间关系密切,而 DEA 方法在刻画生产函数中的重要作用使得它在评估技术进步方面更具优势。1991 年魏权龄等^[47]通过由 DEA 模型确定生产前沿面的途径给出了一种测算技术进步水平和技术进步速度的模型。文献[48]对评估技术进步的几种方法作了分析和归纳,并借助 DEA 理论探讨了技术进步与规模报酬的关联关系。

DEA 方法的另一个较活跃的应用领域是对效率和效益方面的研究。用 DEA 方法研究企业经济效益是一个非常有益的课题。1990 年魏权龄等应用 DEA 方法对中国纺织工业部系统内的 177 个大中型棉纺织企业的经济效益进行了评价。在此基础上,文献[49,50]都对 DEA 方法进行了改进并应用改进的模型对工业企业经济效益问题进行了探讨。

1992 年,朱乔、陈遥利用 DEA 方法建立了求生产单元的最小成本及最大收益模型,并依据要素的市场价格,分析了投入产出最佳组合效率问题^[51,52]。1995 年,迟旭讨论了 DEA 方法与生产函数之间的内在关联,推导出生产规模收益、生产要素的产出弹性等经济指标的 DEA 计算公式。

此外,DEA 方法还可以用于系统的预测预警研究。1991 年朱乔等给出了一种基于 DEA 方法的预测模型。在此基础上,吴文江等将弱 DEA 和 DEA 有效性用于预测问题进行了探讨^[55,56]。1992 年,盛昭瀚等还将 DEA 方法应用于区域国民经济的预警系统。

总之,DEA 方法应用广泛,成功的案例很多。随着经济和社会的发展,DEA 方法也必将被不断地完善,在经济建设中发挥更大的作用。

3 DEA 方法的工作步骤

在应用 DEA 方法进行评价时,为获得一个比较可靠的结果需要在下面几个步骤上多次反复,有时甚至还要结合其它定性或定量方法。

明确问题阶段 为使 DEA 方法所提供的信息更具准确性和科学性,这一阶段需要完成以下工作:(1) 明确评价的目标,并围绕评价的目标对评价的对象进行分析,包括辨识主目标和子目标,以及影响这些目标的因素,并建立一个层次结构;(2) 确定各种因素的性质,例如把因素分为可变的或不变的,可控的或不可控的,以及主要的或次要的等;(3) 考虑因素间可能的定性与定量关系;(4) 由于有些决策单元是开放性的,因此有时还要阐明决策单元的边界,还应应对决策单元的结构、层次进行分析;(5) 应对结果进行定性的分析和预测。

建模计算阶段 这一阶段要完成:(1) 建立评价指标体系:根据第一阶段的分析结果,确定能全面反映评价目标的指标

体系,并且把指标间的一些定性关系反映到权重的约束中,同时,还可以考虑输入输出指标体系的多样性,将每种情况下的分析结果进行比较研究,然后获得比较合理的管理信息;(2)选择DMU选择DMU本质上就是确定参考集。因此,DMU的选取应满足以下几个基本特征:具有相同的目标、任务、外部环境和输入输出指标。决策单元的选取具有一定的代表性;(3)收集和整理的数据具有广泛性;(4)根据有效性分析的目的和实际问题的背景选择适当的DEA模型进行计算。

分析结果阶段 这一阶段要完成:(1)在上述工作的基础上,对计算结果进行分析和比较,找出无效单元无效的原因,并提供进一步改进的途径;(2)根据定性的分析和预测的结果来考察评价结果的合理性,必要时可应用DEA模型采取几种方案分别评价,并将结果综合分析,也可结合其它评价方法或参考其它方法提供的信息进行综合分析。上边的过程可以简单地用图1的流程图表示。

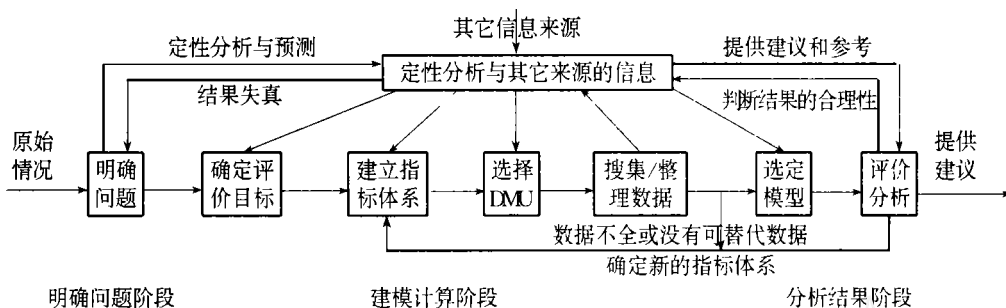


图1 DEA方法工作步骤流程图

4 展 望

DEA方法是评价一类具有多输入多输出单元的十分有效的方法,二十多年来得到了较大的发展,在社会发展中发挥了应有的作用。笔者认为DEA方法在以下几个方面仍有待于进一步发展。

(1) 复杂系统评价方法的研究对经济和社会的发展意义重大,但这同时也是一项十分艰巨的工作。在应用DEA方法评价复杂系统时,该方法既有独特的优势,同时也存在着不足。因此在这一方面进行更深入的研究,不仅能够补充和

完善现有的复杂系统的评价方法,而且有可能开辟DEA方法研究的新方向。

(2) DEA有效单元与偏序集的关系密切,从偏序集的角度研究DEA方法不仅能丰富DEA方法的理论,而且有助于DEA方法的推广。同时DEA方法与其它综合评价方法综合运用的研究仍然是一个不可忽视的研究方向。

(3) 在计算的方法、程序的设计等方面仍有待于进一步研究。

总之,DEA的模型与方法方兴未艾,我们愿同全国的其他同行一道为推进DEA方法在我国的发展尽一点微薄之力。

参考文献:

- [1] Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units [J]. European Journal of Operational Research, 1978, 6 (2) : 429-444.
- [2] 魏权龄. 评价相对有效的DEA方法[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1988.
- [3] 魏权龄, 卢刚. DEA方法与模型的应用——数据包络分析(三) [J]. 系统工程理论与实践, 1989, (5) : 67-75.
- [4] Banker RD, Charnes A, Cooper WW. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis [J]. Management Science, 1984, 30 (9) : 1078-1092.
- [5] Charnes A, Cooper WW, Golany B. Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions [J]. Journal of Econometrics, 1985, 30 (1) : 91-107.
- [6] Charnes A, Cooper WW, Wei QL. Cone Ratio Data Envelopment Analysis and Multi-objective Programming [R]. The University of Texas at Austin, Center for Cybernetic Studies Report, CCS, 1986.
- [7] 张景义. 一类偏好结构下的DEA分析方法和模型[D]. 大连: 大连理工大学管理学院, 1997.
- [8] 刘寅东, 李树范, 唐焕文. 船型技术经济综合评价的DEA方法[J]. 大连理工大学学报, 1995, (6) : 873-878.
- [9] Banker RD, Morey RC. Efficiency Analysis for Exogenously Fixed Inputs and Outputs [J]. Operations Research, 1989, 34 (4) : 513-520.
- [10] 刘永清, 李光金. 要素在有限范围变化的DEA模型[J]. 系统工程学报, 1995, (4) : 87-94.
- [11] 何静. 只有输出(入)的数据包络分析及应用[J]. 系统工程学报, 1995(2) : 49-55.
- [12] Banker RD, Morey R. The Use of Categorical Variables in Data Envelopment Analysis [J]. Management Science, 1986, 32 (12) : 1613-1626.
- [13] Cook WD, Kress M, Seiford L. On the Use of Ordinal Data in Data Envelopment Analysis [J]. Journal of the Operational Research Society, 1993, 44 (2) :

- 133-140.
- [14] Charnes A, Cooper WW, Wei QL. A Semi-infinite Multicriteria Programming Approach to Data Envelopment Analysis with Infinitely Many Decision Making Units [R]. The University of Texas at Austin, Center for Cybernetic Studies Report CCS551, 1986.
- [15] Charnes A. Composite Data Envelopment Analysis and Multi-objective Programming [R]. The University of Texas at Austin, Center for Cybernetic Studies Report, CCS, 1988.
- [16] 李树根. Banach 空间的 DEA 模型 [A]. 东北运筹与应用数学 [M]. 大连:大连理工大学出版社, 1996.
- [17] 马占新, 唐焕文. 一个综合的 DEA 模型及其相关性质 [J]. 系统工程学报, 1999, 14 (4) : 311-316.
- [18] 杨印生, 张德俊, 李树根. 基于 Fuzzy 集理论的数据包络分析模型 [A]. 欧进萍. 模糊分析设计理论及应用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
- [19] 马占新, 唐焕文. DEA 有效单元的特征及 SEA 方法 [J]. 大连理工大学学报, 1999, (4) : 577-582.
- [20] 周泽昆. 评价管理效率的一种新方法 [J]. 系统工程, 1986 (4) : 42-49.
- [21] Sengupta JK. Dynamic Data Envelopment Analysis [J]. International Journal of Systems Science, 1996, 27 (3) : 277-284.
- [22] Sengupta JK. Data Envelopment Analysis for Efficiency Measurement in the Stochastic Case [J]. Computers and Operations Research, 1987, 14 (2) : 117-129.
- [23] 李树根, 杨印生. DEA 有效决策单元集合的结构 [J]. 吉林工业大学学报, 1991 (3) : 1-4.
- [24] 朱乔, 盛昭瀚, 吴广谋. DEA 模型中的有效性问题 [J]. 东南大学学报, 1994 (2) : 78-82.
- [25] 冯俊文. C^2R 和 C^2GS 的 DEA 有效性问题 [J]. 系统工程与电子技术, 1994 (7) : 42-51.
- [26] 吴广谋, 盛昭瀚. 指标特性与 DEA 有效性的关系 [J]. 东南大学学报, 1992 (5) : 124-127.
- [27] 吴文江. 只改变输出使决策单元变为 DEA 有效 [J]. 系统工程, 1995 (2) : 17-20.
- [28] 吴文江. DEA 中只改变输出使决策单元变为有效的方法 [J]. 山东建材学院学报, 1996 (1) : 56-59.
- [29] 魏权龄, 李宏余. 决策单元的变更对 DEA 有效性的影响 [J]. 北京航空航天大学学报, 1991 (1) : 85-97.
- [30] 魏权龄, 卢刚, 岳明. 关于综合 DEA 模型中的 DEA 有效决策单元集合的几个恒等式 [J]. 系统科学与数学, 1989 (3) : 282-288.
- [31] 吴文江, 袁仪方. 有关寻求 DEA 有效的决策单元的方法 [J]. 系统工程学报, 1993 (1) : 80-88.
- [32] 赵勇. 数据包络分析中有效单元的进一步分析 [J]. 系统工程学报, 1995 (4) : 95-100.
- [33] 岳明. 用 DEA 方法确定生产函数 [J]. 数学的实践与认识, 1990 (4) : 38-46.
- [34] 李纪选. 用 DEA 方法确定生产函数的一点记注及决策单元 DEA 有效的条件 [J]. 应用基础与工程科学学报, 1996 (3) : 241-247.
- [35] 马占新, 唐焕文. 关于 DEA 有效性在数据变换下的不变性 [J]. 系统工程学报, 1999 (2) : 40-45.
- [36] Charnes A. Sensitivity and Stability Analysis in DEA [J]. Annals of OR, 1985 (2) : 139-156.
- [37] Charnes A, Neralic L. Sensitivity Analysis of the Additive Model in DEA [J]. European Journal of Operational Research, 1990, 48 (7) : 332-341.
- [38] 朱乔, 陈遥. 数据包络分析的灵敏度研究及其应用 [J]. 系统工程学报, 1994 (6) : 46-54.
- [39] 何静, 吴文江. 有关 DEA 有效性 (C^2R 或 C^2GS) 的定理及其在灵敏度分析中的应用 [J]. 系统工程理论与实践, 1997 (8) : 14-19.
- [40] 杨印生. 带有参数的 C^2R 模型的灵敏度分析 [J]. 系统工程与电子技术, 1997 (12) : 59-62.
- [41] 王应明, 傅国伟. 一种用于工业经济效益综合评价的模型与方法 [J]. 系统工程与电子技术, 1993 (3) : 18-21.
- [42] 王宗军. 综合评价的方法、问题及其研究趋势 [J]. 管理科学学报, 1998 (1) : 74-79.
- [43] 魏权龄. DEA 方法与前沿生产函数 [J]. 经济数学, 1989 (5) : 1-13.
- [44] 魏权龄, 肖志杰. 生产函数与综合 DEA 模型 C^2WY [J]. 系统科学与数学, 1991 (1) : 43-51.
- [45] 穆东. 阶段 C-D 前沿生产函数的 DEA 估计 [J]. 系统工程, 1995 (5) : 48-51.
- [46] 穆东. 外沿生产函数的 DEA 估计新方法 [J]. 山东矿业学院学报, 1995 (2) : 163-166.
- [47] 魏权龄, Sun DB, 肖志杰. DEA 方法与技术进步评估 [J]. 系统工程学报, 1991 (2) : 1-11.
- [48] 杨士辉. 技术进步评价比较研究 [J]. 系统工程理论与实践, 1993, 13 (1) : 59-63.
- [49] 曲雯毓, 唐焕文, 李克秋. 工业经济效益综合评价的 DEA 方法 [J]. 系统工程与电子技术, 1998 (10) : 33-35.
- [50] 冯英俊, 李成红. 全国各省市工业企业的相对效益及技术进步增长速度的测算方法及结果 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 1992 (4) : 1-12.
- [51] 朱乔, 陈遥. 求最小成本、最大收益和最大利润的一种新方法 [J]. 系统工程学报, 1992 (2) : 79-86.
- [52] 朱乔, 陈遥. 评价输入输出最佳组合的非参数方法 [J]. 系统工程理论与实践, 1994 (1) : 69-73.
- [53] 迟旭. 生产前沿面有效性分析的非参数方法和人力资源发展研究 [D]. 大连: 大连理工大学管理学院, 1995.
- [54] 朱乔, 陈遥. 一种预测的新方法 [J]. 数理统计与管理, 1991 (6) : 41-54.
- [55] 吴文江, 何静. 有关将弱 DEA 有效性用于预测的探讨 [J]. 系统工程理论与实践, 1996 (7) : 37-42.
- [56] 吴文江. 有关 DEA 有效性用于预测的探讨 [J]. 预测, 1995 (4) : 58-60.
- [57] 盛昭瀚, 朱乔, 吴广谋. 区域国民经济 DEA 预警系统 [J]. 系统工程学报, 1992 (1) : 97-103.