

文章编号: 1000-6788(2009)07-0139-08

基于非径向超效率 DEA 聚类模型的 FEEEP 系统协调发展

孙立成¹, 周德群¹, 李 群², 胡荣华³

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016; 2. 中国社会科学院 数量经济与技术经济研究所, 北京 100732; 3. 南京财经大学 经济学院, 南京 210003)

摘 要 在传统 DEA 理论的基础上构建了非径向超效率 DEA 聚类模型, 并将该模型和传统 DEA 模型对比分析了我国各地区 FEEEP 系统的协调发展水平. 结果表明: 和传统 DEA 模型相比, 该模型弥补了传统 DEA 模型的缺陷, 能有效地区分生产前沿面上 FEEEP 系统的协调发展水平, 模型的排序结果能准确地反映各地区 FEEEP 系统的协调发展实际水平, 为区域可持续发展政策的制定提供了科学的决策依据.

关键词 非径向; 超效率; DEA 聚类模型; FEEEP 系统; 协调发展

中图分类号 N945.1

文献标志码 A

Coordinate development of FEEEP system based on the non-radial super-efficient DEA cluster model

SUN Li-cheng¹, ZHOU De-qun¹, LI Qun², Hu Rong-hua³

(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;
2. Institute of Quantitative Economics & Technical Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China;
3. Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210003, China)

Abstract This paper constructed the non-radial super-efficient DEA cluster model based on the traditional DEA theory, and makes a comparative analysis of the coordinated development level of various regional FEEEP system lying on the production frontier effectively between the new model and the traditional DEA model. Research shows that compare to the traditional DEA model, the new model made up for the shortcomings of traditional DEA model, the results of the evaluation model can accurately reflect the reality of the regional coordinated development of the FEEEP system, and can provide a scientific basis for the formulation of the regional sustainable development policy.

Keywords non-radial; super-efficient; DEA cluster model; system of FEEEP; coordinate development

1 引言

FEEEP 问题是 1995 年亚太经济合作组织 (APEC) 各会员国在日本大阪举行的领导会议中首次提出

收稿日期: 2008-01-07

资助项目: 国家自然科学基金 (90510010, 70873058); 教育部人文社会科学研究项目 (05JA910002); 江苏省研究生科研创新计划项目 (CX08_041R)

作者简介: 孙立成 (1977-), 男, 南京航空航天大学经济与管理学院博士研究生, 研究方向: 系统科学与能源经济; 周德群 (1963-), 男, 南京航空航天大学经济与管理学院, 博士生导师, 研究方向: 系统科学与能源经济; 李群 (1961-), 男, 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所研究员, 硕士生导师, 研究方向: 数量经济理论与应用; 胡荣华 (1963-), 男, 南京财经大学教授.

的,主要解决的问题是如何在承受人口增长与经济发展的巨大压力下,仍然能够提供足够的食物与能源需要,并同时确保资源的可持续利用与维持良好的环境质量,其中 F 代表的是食物 (Food),三个 E 分别代表能源 (Energy)、环境 (Environment) 和经济发展 (Economic development),而 P 则是指人口 (Population)^[1].从可持续发展的角度来看,FEEEP 问题所涉及的五个方面是区域可持续发展最关键的五个要素,而且这五个要素也不是相互独立的,而是在一起构成了一个相互关联相互影响的复合系统,简称 FEEEP 系统.由于可持续发展的实质指的是在一定时期和科学技术条件下,经济社会在人口、资源和环境三个约束条件下持久、有序、稳定和协调地发展,各种要素之间的协调发展能力强,意味着系统用较少的资源消耗和环境代价获得较大的经济发展,反之则存在相反的情况,因此,研究 FEEEP 系统的协调发展水平不仅有助于增强了解区域可持续发展能力及其存在的问题,而且也是解决 FEEEP 问题、促进 FEEEP 系统内部五个要素进入良性循环发展道路的根本前提.

目前国内外众多学者对 FEEEP 系统协调发展有关的问题做了大量有实践和理论价值的研究,从具体的研究方法来看,主要有参数和非参数方法.参数方法主要有内生增长模型、系统动力学模型、投入产出模型和多目标规划模型等等. Young-Seok Moon^[2] 应用内生增长模型研究了能源消费与经济增长的协调关系,强调了政府调控的作用; Konstantion Bithas 和 Peter Nijkamp^[3] 在不确定信息下,利用专家知识系统构建了环境与经济的协调发展模型; Lu Tong^[4] 将优化方法与混沌特性分析的自学习方法相结合,提出了一种基于协调的复合系统混沌控制模型,构建了区域“经济-资源-环境”复合系统的面向协调管理整体协调度优化模型;姚愉芳和贺菊煌^[5] 运用系统动力学与投入产出模型研究了人口、资源、经济与环境 4 大系统的协调性关系;魏一鸣、曾嵘等^[6] 建立了基于目标规划的 PREE 系统多目标综合集成模型,较好地反映了各子系统协调发展的制衡关系;姜涛和袁建华等^[7] 在进行定性分析的基础上,建立了基于动态投入产出原理的可持续发展多目标最优规划模型,以研究各种经济要素变动和经济结构转变、发展战略和目标之间的相互关系等.非参数方法主要是数据包络法 (DEA),由于参数方法在确定指标权重时存在主观性强、相关性约束不容易检验以及受前提假设影响较大等一些缺陷,而非参数 DEA 方法则是以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,不但避免了确定各指标在优先意义下的权重,而且还不需要提前确定变量之间的显式表达式^[8],因此自 Färe 等^[9] 正式提出评价环境效率的 DEA 模型以来,DEA 方法在能源环境效率评价中得到了广泛的应用,如: Tyteca^[10]、Allen^[11]、Sarkis 和 Talluri^[12]、武玉英和何喜军^[13] 等.

本文在传统 DEA 理论的基础上构建了效率区分度更高的非径向超效率 DEA 聚类模型,并将非径向超效率 DEA 聚类模型运用于我国区域 FEEEP 系统协调发展的分析中,在为区域 FEEEP 系统协调性分析提供新的方法的同时,也为各地区了解 FEEEP 系统状况、解决 FEEEP 问题提供了理论基础和实践依据.文章的结构安排如下:第二部分提出了非径向超效率 DEA 聚类模型的分析框架;第三部分是模型在 FEEEP 系统协调发展水平分析中的应用;最后是结论和启示.

2 模型构建

2.1 非径向超效率 DEA 模型

假设有 n 个决策单元 (DMU),每个 DMU 都有 m 种输入和 s 种输出,其中 $x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T > 0$, $y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T > 0$, x_{ij} 为 DMU_j 对第 i 种输入的投入量, y_{rj} 为 DMU_j 对第 r 种输出的产出量 ($j = 1, 2, \dots, n$; $i = 1, 2, \dots, m$; $r = 1, 2, \dots, s$).记 DMU_{j_0} 对应的输入、输出数据分别为: $x_0 = x_{j_0}$, $y_0 = y_{j_0}$, $1 \leq j_0 \leq n$,因此, DMU_{j_0} 基于输入的径向 C²R 模型的表达式如模型 (1) 所示.

$$\begin{aligned} & \min \left[\theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \right] \\ & \text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{i j_0}, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & \quad \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r j_0}, \quad r = 1, 2, \dots, s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad s_i^+ \geq 0, \quad s_r^- \geq 0 \quad (1) \\ \min & \left[\frac{\sum_{i=1}^m a_i \theta_0^i}{\sum_{i=1}^m a_i} - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \right] \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta_0^i x_{ij_0}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2) \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rj_0}, \quad r = 1, 2, \dots, s \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad s_i^+ \geq 0, \quad s_r^- \geq 0 \end{aligned}$$

其中: s_r^- 和 s_r^+ 分别为剩余变量和松弛变量, ε 为非阿基米德无穷小量, 一般取 $\varepsilon = 10^{-6}$.

当 $\theta = 1$ 时, 表明 DMU_{j_0} 径向有效, 当 $\theta < 1$ 时表明 DMU_{j_0} 径向无效, 模型 (1) 在实际应用中主要存在以下三个问题: 1) 各输入变量的减少比例是相同的, 即 θ 值是相对于 DMU_{j_0} 的所有输入变量而言的, 但现实中不同的输入变量对输出变量的弹性可能不同, 这样 DMU_{j_0} 效率改进的同时各输入变量减少也不一定同比例的; 2) 没有考虑输入变量的先验信息所带来的决策者对输入变量偏好的影响, 如: 输入变量的价格、数量、质量以及国家的一些宏观经济政策等一些先验的外部因素; 3) 没有考虑非径向松弛变量对 DMU_{j_0} 效率的影响. 因此, 众多学者在传统的径向 DEA 模型的基础上提出了一系列的非径向 DEA 模型 (如: Zhu^[14]; Seiford and Zhu^[15]; Chen^[16] 等), 其中模型 2 是 Zhu^[14] 构建的一种非径向 DEA 模型, 在这个模型中 α_i 表示决策者对第 i 个输入变量的偏好程度, 其中 $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1, 0 \leq \alpha_i \leq 1, \alpha_i$ 值越大表明决策者越优先考虑减少第 i 个输入变量的投入, 通过引进参数 α_i 使得该模型有效地克服了传统径向 DEA 模型的缺点, 提高了模型评价的精度, 但模型 1 和模型 2 存在着一个共同的缺点, 即它们所得到的评价结果只有两种情况: 有效和无效, 这样就可能存在多个决策单元由于同处于生产前沿面上而无法判断决策单元的优劣, 无法满足人们对于决策单元全排序的愿望, 因此 Anersen 和 Peterson^[17] 构建了基于变生产可能集的径向超效率模型, 也称为 SuperCCR 模型. 本文将变生产可能集思想应用于非径向模型 2 中, 构建了基于变生产可能集的非径向超效率模型 3, 和模型 2 相比此模型主要有两个特点: 1) 模型的生产可能集不包含被评价的决策单元 j_0 ; 2) 目标函数值可以大于 1. 模型中参数 α_i 和模型 2 中 α_i 的经济含义相同, 该参数需要在应用模型之前提前确定, 一般可通过输入变量的价格或数量等一些先验信息获得, 具体方法可参见文献 [18].

$$\begin{aligned} \min & \left[\frac{\sum_{i=1}^m a_i \theta_0^i}{\sum_{i=1}^m a_i} - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \right] \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1, \neq j_0}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta_0^i x_{ij_0}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3) \\ & \sum_{j=1, \neq j_0}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rj_0}, \quad r = 1, 2, \dots, s \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad s_i^- \geq 0, \quad s_r^+ \geq 0 \end{aligned}$$

2.2 最优聚类分割原理

最优分割法是对有序样品进行聚类的一种方法, 该方法依据是离差平方和进行分类的. 设样品依次是 x_1, x_2, \dots, x_n (每个样品是 m 维向量), 最优分割步聚如下^[19]:

1) 定义类的直径

设某一类 G_{ij} 是 $\{x_i, x_{i+1}, \dots, x_j\}, j > i$, 它们的均值记为 \bar{x}_{ij} , 且 $\bar{x}_{ij} = \frac{1}{j-i+1} \sum_{l=i}^j x_l$, G_{ij} 的直径用 $D(x_i, x_j)$ 表示, 常用的直径是 $D(x_i, x_j) = \sum_{l=i}^j (x_l - \bar{x}_{ij})^T (x_l - \bar{x}_{ij})$. (4)

2) 定义目标函数

将 n 个样品分成 k 类, 设某一种分法是: $p(n, k) : \{x_{i_1}, x_{i_1+1}, \dots, x_{i_2-1}\}, \{x_{i_2}, x_{i_2+1}, \dots, x_{i_3-1}\}, \dots, \{x_{i_k}, x_{i_k+1}, \dots, x_n\}$. 其中分点 $x_1 = x_{i_1} < x_{i_2} < \dots < x_{i_k} < x_{i_{k+1}} = x_n$, 定义这种分类的目标函数为: $e[p(n, k)] = \min \sum_{j=1}^k D(x_{i_j}, x_{i_{j+1}-1})$, 当 n, k 固定时, $e[p(n, k)]$ 越小表示各类离差平方和越小, 分类是合理的.

3) 精确最优解的求法

容易验证有如下的递推公式:

$$e[p(n, 2)] = \min_{2 \leq j \leq n} \{D(x_1, x_{j-1}) + D(x_j, x_n)\} \quad (5)$$

$$e[p(n, k)] = \min_{k \leq j \leq n} \{e[p(x_{j-1}, x_{k-1})] + D(x_j, x_n)\} \quad (6)$$

当要分成 k 类时, 首先找 x_{j_k} 使 (6) 式达到极小, 即:

$e[p(n, k)] = e[p(x_{j_k-1}, x_{k-1})] + D(x_{j_k}, x_n)$, 于是 $G_k = \{x_{j_k}, x_{j_k+1}, \dots, x_n\}$, 然后找 $x_{j_{k-1}}$ 使满足: $e[p(x_{j_{k-1}}, x_{k-1})] = e[p(x_{j_{k-1}-1}, x_{k-2})] + D(x_{j_{k-1}}, x_{j_k-1})$, 得到类 $G_{k-1} = \{x_{j_{k-1}}, \dots, x_{j_k-1}\}$

2.3 非径向超效率 DEA 聚类模型

非径向超效率 DEA 聚类模型是将非径向超效率 DEA 模型与最优聚类分割原理相结合而形成的一种新方法. 该方法是以非径向超效率 DEA 的评价结果为聚类标准, 应用最优聚类分割原理将决策单元的评价结果进行聚类, 使聚类的结果更为客观准确. 具体计算步骤如下: 首先, 运用模型 (3) 计算出决策单元的技术效率, 并按大小进行排序以作为聚类的原始数据; 其次, 确定聚类的数目, 按式 (4) 计算类的直径; 最后, 利用公式 (5) 和式 (6) 依次进行, 分别求出最优分割点 x_{j_k} , 最后得出最优聚类结果.

3 模型应用

3.1 FEEEP 系统协调发展内涵

协调指的是为实现区域 FEEEP 系统的总体演进目标, 各子系统或各元素之间相互协作、互相配合、相互促进而形成的一种良性循环态势; 发展是指系统或组成元素本身从小到大、从简单到复杂、从低级到高级、从无序到有序的变化过程; 而协调发展则是指以实现人的全面发展为目的, 通过区域 FEEEP 系统及各系统内部各元素间的相互协作、互相配合和相互促进而形成的区域 FEEEP 系统不断推进的良性循环态势 (王维国)^[20].

由于 FEEEP 系统是由食物、能源、环境、经济与人口五个相互影响相互制约的子系统组成, 因此可以将 FEEEP 系统视为一个多投入和多输出的生产系统, 而系统的协调发展水平则主要是由各具体区域 FEEEP 系统的投入产出效率来反映, 效率高的系统其协调性相对较好, 效率低的系统则其协调性相对较差. 从基于投入的规模报酬不变 (CRS) 的 DEA 模型投入产出思想来看, 区域 FEEEP 系统的协调发展水平可表示为在某一相对确定的时间和空间范围内, 在给定一组投入要素不变的情况下, 决策单元的实际产出与潜在最大产出的比值, 如图 1 所示.

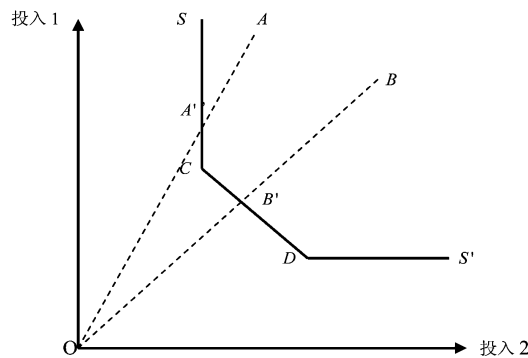


图 1 基于投入的 CRS DEA 模型

在图 1 中, 假设有两个投入要素, 分别为投入 1 和投入 2; SS' 为投入要素的等产量曲线, 即在两个要素投资组合下的最大生产可能性曲线. 由图 1 可以看出, 点 C 和 D 是产出有效点, 而点 A 和 B 则表示存在一

定程度的效率损失, 即在同样投入要素的条件下产出存在一定的损失. 依据 Farrel^[21] 的定义, 可得 DMU_A 和 DMU_B 的效率分别为 $|OA'|/|OA|$ 和 $|OB'|/|OB|$, 但 A' 点并不是 A 点的最优参照点, 而是 C 点, 这主要是由投入要素的松弛变量问题所导致的, 反映的是投入要素配置的无效率程度, 可见, 点 A 的无效率主要是由两个部分构成的: 一部分是由 DMU_A 的技术无效率所导致的投入要素的过量 $|AA'|$, 另一部分由投入要素配置的不恰当所导致的松弛变量 $|A'C|$, 因此 $|AC| = |AA'| + |A'C|$, 可见考虑非径向松弛变量所带来的影响时 DMU_A 的效率为 $|OA'|/(|AC| + |OA'|)$, 若 $|AC|$ 越大表明 DMU_A 的效率越低, 在本文中就表明决策单元 FEEEP 系统的协调发展水平就越低, 反之就越高.

3.2 指标和数据

FEEEP 系统的投入和产出指标体系是由体现这五个子系统主要特征的指标所构成, 从具体的 DEA 方法对投入和产出指标体系的要求来看, 一般将收益型的指标视为产出指标体系, 此类指标的特点是指标值越大越好, 将成本型指标作为投入指标体系来处理, 此类指标特点是越小越好 (吴文江)^[22]. 因此本文将经济与食物两个子系统划分为产出系统, 将能源、环境和人口划分为投入系统. 从具体的五个子系统来看, 每个子系统都可以由多个相关的指标来反映系统的情况, 为有利于各部门的宏观调控, 可以在这五个子系统中选择一些关键性的指标来进行总体规划和优化 (曾嵘、魏一鸣等)^[23]. 具体各子系统的指标体系如表 1 所示. 本文主要是选取 2005 年中国各地区 FEEEP 系统的数据来进行分析, 表 1 中各指标的数据主要来源于《中国统计年鉴 2006》和《中国能源统计年鉴 2006》. 其中由于西藏自治区的社会经济系统与其他地区差异甚大, 指标数据收集不齐, 所以本文不包含西藏自治区.

表 1 区域 FEEEP 系统投入产出指标体系

投入		产出		
能源指标	环境指标	人口指标	食物指标	经济指标
能源消耗总量	工业废水排放总量	人口总量	粮食总量	GDP 总量
电力消耗总量	工业废气排放总量			
用水总量	工业固体废物总量			

3.3 模型结果

基于上述非径向超效率 DEA 聚类模型和区域 FEEEP 系统指标体系的数据, 本文是应用 LINGO8.0 软件来分别求解模型 (1)、模型 (2) 和模型 (3) 的结果, 多元统计聚类的结果是由 SPSS13.0 软件测算出来的. 其中在模型 (3) 中 α_i 值反映的是决策者对输入变量的偏好程度, 从指标选取的原则来看, 由于投入和产出指标表示的都是各子系统中最有代表性的指标, 因此各指标的重要程度也基本相同, 为方便起见本文令 $\alpha_i = 1/7$. 最后运用最优聚类分割原理将模型 (3) 的结果分成四类, 并把具体分类结果和多元统计聚类分析的结果进行对比分析. 具体的结果如表 2 所示.

从表 2 可以看出: 1) 和其它两个模型相比, 非径向超效率模型的区分能力更强. 从表 2 具体结果来看, 径向模型所得到的协调发展水平值相对较高, 各地区的差异也不是很明显, 其中有 10 个地区处于生产前沿面上, 其值为 1, 除青海和宁夏的协调发展水平值为 0.34 和 0.59 外, 其它地区 FEEEP 系统协调发展水平值均大于 0.70; 而非径向模型只有北京和吉林两个地区处于生产前沿面上, 其它各地区的协调发展水平在整体上都比径向模型所得的值要小; 而非径向超效率模型相对非径向模型来说则具有更强的区分能力, 从表 2 可以看出, 对于非径向 DEA 无效的决策单元两个模型所得到的值基本一致, 但对于非径向 DEA 有效的决策单元则有很大的差异, 如北京和吉林两个地区, 在径向和非径向模型中都处于前沿面上, 表明两个地区的协调发展水平没有差异, 但非径向超效率模型所得的值分别为 1.60 和 1.25, 说明北京地区的 FEEEP 系统的协调发展水平高于吉林地区, 可见非径向超效率模型能有效地区分非径向模型中处于生产前沿面上的决策单元, 具有更强的区分能力. 2) 从两种聚类方法的结果来看, 最优分割聚类的性质更优. 这是因为: 第一, 最优分割

表 2 2005 年区域 FEEEP 系统协调发展水平评价分类表

地区	径向模型	非径向模型	非径向超效率模型	最优分割聚类	多元统计聚类	地区	径向模型	非径向模型	非径向超效率模型	最优分割聚类	多元统计聚类
北京	1.00	1.00	1.60	1	1	四川	0.88	0.67	0.67	2	2
吉林	1.00	1.00	1.25	1	1	湖北	0.77	0.61	0.61	2	2
黑龙江	0.99	0.95	0.95	1	1	新疆	0.80	0.60	0.60	2	1
海南	1.00	0.84	0.84	1	1	内蒙古	1.00	0.59	0.59	3	1
广东	1.00	0.80	0.80	1	3	云南	0.75	0.58	0.58	3	1
河南	0.98	0.78	0.78	2	2	贵州	1.00	0.55	0.55	3	1
安徽	1.00	0.75	0.75	2	1	陕西	0.75	0.55	0.55	3	1
山东	0.99	0.75	0.75	2	2	福建	0.91	0.54	0.54	3	2
湖南	0.91	0.73	0.73	2	2	广西	0.88	0.51	0.51	3	2
上海	1.00	0.71	0.71	2	1	辽宁	0.71	0.50	0.50	3	2
江西	1.00	0.70	0.70	2	1	甘肃	0.72	0.48	0.48	4	1
重庆	0.86	0.68	0.68	2	2	河北	0.64	0.48	0.48	4	2
天津	0.92	0.67	0.67	2	1	山西	0.90	0.45	0.45	4	1
江苏	1.00	0.67	0.67	2	4	宁夏	0.59	0.31	0.31	4	1
浙江	0.92	0.67	0.67	2	3	青海	0.34	0.27	0.27	4	1

聚类法能有效地按区域特征对决策单元进行分类,如在表 2 所分的四类中,我国东部地区 FEEEP 系统的协调发展水平基本被聚为一类,西部地区也基本被划为一类,而多元统计聚类方法却将北京和青海两个相关性不大的地区聚为一类,可见多元统计聚类分析的结果可信度相对较差;第二,最优分割聚类法所得的类别能有效地划分区域 FEEEP 系统协调发展水平的层次,如:处于第一类地区的 FEEEP 系统协调发展水平相对较高,第二类次之,最差的是第四类的地区,而多元统计聚类方法则不具备区别各个类别的差异性的能力,需要进一步分析各类别的区域特征才能确定出各个类别的具体层次,可见相对而言最优分割聚类法所得的聚类结果更优。3) 在整体上从 2005 年各地区 FEEEP 系统协调发展水平所分的四个类别来看,第一类地区的协调发展水平值在 0.80 到 1.60 之间,一共有五个地区,说明这些地区相对于其它地区来说, FEEEP 系统各子系统之间协调性较高,可见其相应的可持续发展能力也相对较强,其中北京和吉林两个地区的协调发展水平的值均超过 1,说明这两个地区经济发展的集约度高,传统的以资源消耗、环境污染为代价的经济增长方式已有明显的改善,其可持续发展的相关政策也是有效可行的;而其它三个地区则需要有针对性地进一步从政策上强化环境保护意识、提高能源的综合利用效率和粮食的生产能力、加强污染排放的控制力度以提高相应的可持续发展能力;第二类地区的协调发展水平值在 0.60 到 0.78 之间,一共有 13 个地区,这些地区的 FEEEP 系统协调发展水平处于良好状态,说明这些地区的可持续发展能力一般,需要进一步协调这些地区的能源利用能力、环境污染治理能力以及粮食生产能力之间的关系,从这些地区的区域位置来看,大部分地区是东部和中部地区,只有重庆、四川和新疆是西部地区,其排名也比较靠后;第三类和第四类地区的协调发展水平值均低于 0.60,其中最低的是青海,为 0.27,最高的为内蒙古,为 0.59,可见这两类地区 FEEEP 系统各子系统之间的协调性较差,可持续发展能力也相对较差,其中第三类地区在整体上比第四类地区可持续发展能力要好;从具体的区域来看,这两类地区大部分均属于西部地区,可见西部地区的 FEEEP 问题较为严重。4) 从具体 2005 年各地区 FEEEP 系统协调发展水平的排序来看,其结果和中国科学院在《2008 中国可持续发展战略报告》^[24] 中公布的 2005 年我国各地区可持续发展能力的排序存在一定的差异,主要原因在于本文是从区域 FEEEP 五个子系统之间协调发展的角度来考察区域可持续发展的能力,由于食物是人类赖以生存的基础,所以在 FEEEP 系统中强调了食物的重要性,如上海市和辽宁省在中科院的发展报告中排名第一和第六,而在本文中仅排名第十和第二十五,主要原因是因为上海市粮食生产总量很低,在所有地区位列倒数第三,辽宁省之所以排名较低是因为辽宁的能源投入和环境污染均较高,而粮食的总产量也相对较低,所以这两个地区从 FEEEP 系统协调发展的角度来看其可持续发展能力是相对较弱的,区域 FEEEP 问题也较严重;而对于农业大省安徽省、河南省和山东省来说,由于其粮食生产能力较强,与能源消耗和环境污染也比较协调,因此从 FEEEP 系统协调发展的角度来看,这几个地区的可持续发展能力相对较高,其排名也相对较高。

4 结论和启示

从上面的分析中可以看出: 1) 本文所构建的非径向超效率 DEA 模型能很好地弥补传统 DEA 模型的缺陷, 具有很强的区分能力, 能得到各地区 FEEEP 系统协调发展水平的全排序. 由于传统 DEA 模型的评价结果分为 DEA 有效和 DEA 无效两类, 对于处在生产前沿面上的决策单元, 径向和非径向 DEA 模型都很难进行合理的排序, 而非径向超效率 DEA 模型则能有效地加以区分, 可见非径向超效率 DEA 模型的区分能力主要表现在对生产前沿面的决策单元上, 对于 DEA 无效的决策单元则和非径向 DEA 模型相一致; 同时非径向超效率 DEA 模型有效地克服了传统 DEA 模型不能事先考虑决策者偏好和非径向松弛变量对模型结果的影响, 使评价的结果更具有科学性; 2) 在最优聚类分析中, 模型的分类结果要好于多元统计聚类分析方法. 从具体的聚类结果来看, 第一类基本是以东部地区为主, 第二类是以中部地区为主, 第三和第四类则是以西部地区为主, 聚类的结果有效地反映了现实情况, 为各地区可持续发展政策的制订提供了科学的参考标准和依据, 可见本文所构建的非径向超效率 DEA 聚类模型能适用于 FEEEP 系统的协调发展水平研究, 为解决区域 FEEEP 问题提供了新的研究方法; 3) 本文为方便起见平均分配了模型中决策者偏好参数, 在现实中可以通过考虑输入变量的价格、数量、质量和国家宏观政策等一些因素的影响, 使决策者偏好参数的制订更为合理, 也可以通过改变不同因素所决定的决策参数来确定模型结果对现实因素的灵敏度, 从而为客观评价 FEEEP 系统的协调性、科学有效地解决区域 FEEEP 问题提供更为可靠的理论依据和现实基础.

参考文献

- [1] <http://www.china.com.cn/ch-sjjj/yataijinghe3.htm>
- [2] Moon Y S. Productive energy consumption and economic growth: An endogenous growth model and its empirical application[J]. *Resource and Energy Economics*, 1996, 18(2): 189–200.
- [3] Bithas K, Nijkamp P. Environmental-economic modeling with semantic insufficiency and factual uncertainty[J]. *Journal of Environmental Systems*, 1997, 25(2): 167–184.
- [4] Lu T, Han W X. Model for chaos control of regional Ec-R-Ev system[J]. *Transactions of Tianjin University*, 2001(2): 81–85.
- [5] 姚愉芳, 贺菊焯. 中国经济增长与可持续发展: 理论、模型与应用 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 1998.
Yao Y F, He J H. *Economic Growth of China and Sustainable Development: Theory, Model and Application*[M]. Beijing: Social Sciences Documentary Press, 1998.
- [6] 魏一鸣, 曾嵘, 范英, 等. 北京市人口、资源、环境与经济协调发展的多目标规划模型 [J]. *系统工程理论与实践*, 2002, 22(2): 74–83.
Wei Y M, Zeng R, Fan Y, et al. A multi-objective goal programming model of Beijing's coordination development of population, resources, environment and economy[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2002, 22(2): 74–83.
- [7] 姜涛, 袁建华, 等. 人口-资源-环境-经济系统分析模型体系 [J]. *系统工程理论与实践*, 2002, 22(12): 67–72.
Jiang T, Yuan J H, et al. An analyzing model system on population, resources, environment and economics[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2002, 22(12): 67–72.
- [8] 魏权龄, 岳明. DEA 概论与 C^2R 模型-数据包络分析 [J]. *系统工程理论与实践*, 1989, 9(1): 58–69.
Wei Q L, Yue M. DEA introduction and C^2R model-data envelopment analysis[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 1989, 9(1): 58–69.
- [9] Färe R, Grosskopf S, Lovell C A, et al. Productivity comparisons when some outputs are undesirable: A nonparametric approach[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1989, 71(1): 90–98.
- [10] Tyteca D. On the measurement of the environmental performance of firms—A literature review and a productive efficiency perspective[J]. *Journal of Environmental Management*, 1996, 46(3): 281–308.
- [11] Allen K. DEA in the ecological context — An overview[G]. Westermann G. *Date Envelopment Analysis in the Service Sector*, Gabler, Wiesbaden, 1999: 203–235.
- [12] Sakis J, Talluri S. Ecoefficiency measurement using data envelopment analysis: Research and practitioner issues[J]. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 2004, 6(1): 91–123.
- [13] 武玉英, 何喜军. 基于 DEA 方法的北京可持续发展能力评价 [J]. *系统工程理论与实践*, 2006, 26(3): 117–123.
Wu Y Y, He X J. The evaluation of Beijing sustainable development based on DEA model[J]. *Systems Engineering*

- Theory & Practice, 2006, 26(3): 117–123.
- [14] Zhu J. Data envelopment analysis with preference structure[J]. Journal of the Operational Research Society, 1996, 47(1): 136–150.
- [15] Seiford L M, Zhu J. Identifying excesses and deficits in Chinese industrial productivity (1953–1990): A weighted data envelopment analysis approach[J]. Omega, 1998, 26(2): 279–296.
- [16] Chen Y. A non-radial Malmquist productivity index with an illustrative application to Chinese major industries[J]. International Journal of Production Economics, 2003, 83(1): 27–35.
- [17] Andersen P, Petersen N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1993, 39(10): 1261–1294.
- [18] Allen R, Athanassopoulos A, Dyson R G, et al. Weights restrictions and value judgements in data envelopment analysis: Evolution, development and future directions[J]. Annals of Operations Research, 1997, 73: 13–34.
- [19] 张尧庭, 方开泰. 多元统计分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1982.
Zhang Y T, Fang K T. Multi-Variable Statistic Analysis[M]. Beijing: Science Press, 1982.
- [20] 王维国. 协调发展的理论与方法研究 [M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2000.
Wang W G. The Study of the Methods and Theory of the Coordinated Development[M]. Beijing: China Financial and Economic Publishing House, 2000.
- [21] Farrl M J. The measurement of productive efficiency[J]. Journal of Royal Statistical Society, 1957, 120(2): 253–290.
- [22] 吴文江. 数据包络分析及其应用 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2002.
Wu W J. Data Envelopment Analysis and Application[M]. Beijing: China Statistic Press, 2002.
- [23] 曾嵘, 魏一鸣, 范英, 等. 人口、资源、环境与经济协调发展系统分析 [J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(12): 1–6.
Zeng R, Wei Y M, Fan Y, et al. System analysis of hamonization developlment among population, resource, environment and economy[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2000, 20(12): 1–6.
- [24] 中国科学院. 2008 中国可持续发展战略报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
Chinese Academy of Sciences. Strategy Report of the Sustainable Development of China 2008[M]. Beijing: Science Press, 2008.