文章编号: 1000-6788(2002)02-0067-07

测算具有松弛技术效率的 DEA方法

李光金[1], 阎 洪[2]
(1. 四川大学工商管理学院,四川 成都 610064; 2. 香港理工大学管理学系,香港)

摘要: 首先介绍并总结了现有技术效率的主要测算方法.在分析其局限性的基础上,定义了一种同时考虑投入和产出松弛与权重的技术效率指数.借助 DEA思想,提出了一种扩展 DEA模型,用于测算该技术效率指数,进一步探讨了如何识别决策单元的技术有效性和如何改进非技术有效决策单元等问题.事实上,其它技术效率测算仅仅是本文方法的特例,而且在测算技术效率的同时就可以根据技术效率是否为 1直接判断决策单元的技术有效性进而对非有效决策单元实施改进.

关键词: 技术效率; 数据包络分析; 决策单元; 松弛
中图分类号: N94 文献标识码: A [20]

DEA for Measuring Technical Efficiency Associated with Slacks

LI Guang-jin[1], YAN Hong[2]
(1. Business School, Sichuang University, Chengdu 610064, China; 2. Dept. of Management, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

Abstract: This paper presents the existing measures of technical efficiency. Taking the limitations of these approaches into its considerations, it defines a new index of technical efficiency considering slacks on both input and output. Following data envelopment analysis(DEA), it develops an extension to DEA that is capable to measure technical efficiency defined in this paper. It also discusses about how to identify efficient decision making unit (DMU) and to improve DMU being inefficient.

Keywords: technical efficiency; data envelopment analysis; decision making unit; slack

1 引言

自 Koopmans1951年定义技术有效[1]以来,生产部门(简称决策单元)的技术效率(Technical Efficiency)测算就一直是数量经济学的重要研究内容. 1957年 Farrell提出用投入最大径向削减量测算技术效率[2],但由于其在投入上属于径向(等比)削减,使得技术效率不能反映可能有的投入冗余[3],且当时 Farrell讨论的还仅仅是多投入单产出问题. 1978年 Charnes等基于 Farrell效率提出了测算多产出决策单元相对效率的著名的数据包络分析(DEA)[4]方法,1984年 Banker等进一步发展了 DEA,并用于测算决策单元 Farrell型纯技术效率[5],但该方法仍然没有考虑投入冗余和产出不足(以下统称松弛); 1985年 Russell允许投入非径向(不同比率)削减,并将削减比率的算术平均作为决策单元技术效率[6],此方法不仅没有考虑产出及其松弛,而且也忽略了投入之间的不同权重. 1998年 Ruggiero提出对投入施加权重的加权 Russell技术效率测算方法[7]. 2001年,Tone探讨了考虑投入和产出松弛的技术效率测算方法[8],但其方法在实证分析时,一方面涉及诸多近似处理,以至影响分析效果,另一方面没有考虑投入及产出的权重.针对以

[20] 收稿日期: 2001-06-22
资助项目: 国家自然科学基金(79800023); 香港理工大学研究基金(A-PB64)

上技术效率测算方法之不足,本文定义了考虑投入和产出及其松驰与权重的技术效率指数,并运用 DEA 思想,提出了测算该技术效率指数的扩展 DEA模型及求解方法,其特点是在测算技术效率的同时就能识别决策单元的技术有效性,而且其他技术效率测算方法仅是其特例.

2 技术效率测算方法比较研究

设具有相同类型投入与产出的第 $j(j=1,\cdots,n)$个决策单元具有 m项投入,s项产出,其投入向量为 $X_j=(x_{1j},\cdots,x_{ij},\cdots,x_{mj})^T>0$,产出向量为 $Y_j=(y_{1j},\cdots,y_{rj},\cdots,y_{sj})^T>0$,$x_{i0}$,$y_{r0}$分别是被测算决策单元$(X_0,Y_0)$的第 i种投入和第 r种产出.

2.1 Koopmans型技术效率(KTE)

Koopmans定义技术效率[1]

$$KTE=\frac{\sum_{i=1}^{m}k_i x_{ik}}{\sum_{i=1}^{m}k_i x_{i0}} \tag{1}$$

式中 k_i 是第 i种投入的权重,且$\sum_{i=1}^{m}k_i=1$, $k_i\geq 0$, 而$\sum_{i=1}^{m}k_i x_{ik}$ 是下面规划最优值.

$$\begin{aligned}
&\min\sum_{i=1}^{m}k_i x_{ik}\\
&\text{s.t.}\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}\leq x_{ik},\quad i=1,\cdots,m\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj}\geq y_{r0},\quad r=1,\cdots,s\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1,\ \forall\lambda_j,\ x_{ik}\geq 0
\end{aligned} \tag{2}$$

Koopmans型技术效率测算虽然考虑了投入及其松驰,但它不能反映产出及其松驰的影响[3]. 此外,它必须分两步测算:先求解(2),然后代入(1).

2.2 Farrell型技术效率(FTE)

Farrell定义技术效率[2]

$$FTE=\theta \tag{3}$$

式中 θ 为投入径向最大削减比率. 该方法没有考虑投入松驰,且只针对单产出情况. 对此,Banker等提出测算决策单元 Farrell型纯技术效率的 DEA模型(4)和(5)[5].

$$\begin{aligned}
&\min\theta\\
&\text{s.t.}\sum_{j=1}^{n}\lambda_j X_j\leq\theta X_0,\ \sum_{j=1}^{n}\lambda_j Y_j\geq Y_0\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1,\quad\forall\lambda_j\geq 0
\end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
&\max W\\
&\text{s.t.}\sum_{j=1}^{n}\lambda_j X_j\leq X_0,\ \sum_{j=1}^{n}\lambda_j Y_j\geq WY_0\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1,\quad\forall\lambda_j\geq 0
\end{aligned} \tag{5}$$

若(4)和(5)的最优值分别是 $\theta^0(\theta^0\leq 1)$和 $W^0(W^0\geq 1)$,则决策单元(X_0,Y_0)的 FTE为 θ^0或 $1/W^0$.

由于(4)(或(5))从径向削减投入(或扩大产出),因而不能考虑投入(或产出)松驰,更没有考虑产出扩

大(或投入削减)以及投入、产出权重.

2.3 Russell型技术效率(RTE)

Russell定义技术效率[6]

$$\mathrm{RTE}=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\theta_i \tag{6}$$

式中 $\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\theta_i$ 是规划(7)最优值.

$$\begin{aligned}
&\min \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\theta_i\\
&\text{s.t.}\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}\le\theta_i x_{i0},\quad \theta_i\le 1,\ i=1,\cdots,m\\
&\qquad\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj}\ge y_{r0},\quad r=1,\cdots,s\\
&\qquad\sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1,\ \forall\lambda_j\ge 0
\end{aligned}\tag{7}$$

为了考虑投入之间权重,Ruggiero进一步提出了加权 RTE测算方法[7],即

$$\begin{aligned}
&\min\sum_{i=1}^{m}k_i\theta_i\\
&\text{s.t.}\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}\le\theta_i x_{i0},\quad \theta_i\le 1,\ i=1,\cdots,m\\
&\qquad\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj}\ge y_{r0},\quad r=1,\cdots,s\\
&\qquad\sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1,\ \forall\lambda_j\ge 0
\end{aligned}\tag{8}$$

无论是 RTE还是加权 RTE,都仅仅通过投入的非径向削减考虑松弛,仍然没有考虑产出扩大及其松弛、权重.

由此可见,以上测算方法都只能从投入或产出角度测算决策单元的技术效率,没有同时考虑投入削减、产出扩大及其松弛与权重. 为此 Tone建立了如下的 DEA模型[8]

$$\begin{aligned}
&\min \mathrm{d}=\frac{1-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1+\frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\frac{s_i^+}{y_{r0}}}\\
&\text{s.t. } X_0=X\lambda+S^-\\
&\qquad Y_0=Y\lambda-S^+\\
&\qquad\sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1,\lambda,S^-,S^+\ge 0
\end{aligned}\tag{9}$$

(9)经过 Charnes-Cooper变换[9],可以转化成等价的线性规划. 但在求解其等价的线性规划之前,必须对规划中的$\frac{s_i^-}{x_{i0}}$, $\frac{s_r^+}{y_{r0}}$进行近似计算,当投入和产出数值大、项数多且单位选取不同时,不仅计算繁杂而且会影响(9)的最优解,从而影响最终测算结果.

3 考虑投入和产出松弛的技术效率指数及其 DEA模型

在(4)的约束中引入松弛后,有

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} = x_{i0} - s_i^-, \quad i = 1,\cdots,m$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} = y_{r0} + s_r^+, \quad r = 1,\cdots,s \tag{10}$$

设 $s_i^- = \theta_i^1 x_{i0}$, 而且因为 $x_{i0} \geq s_i^- \geq 0$,则

$$0 \leq \theta_i^1 \leq 1$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_i x_{ij} = x_{i0} - \theta_i^1 x_{i0} = (1 - \theta_i^1) x_{i0} \tag{11}$$

令 $\theta_i = 1 - \theta_i^1$, 有

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} = \theta_i x_{i0}, \quad \theta_i \leq 1, \quad i = 1,\cdots, m \tag{12}$$

类似可推导出

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} = W_r y_{r0}, \quad W_r \geq 1, \quad r = 1,\cdots, s \tag{13}$$

式中

$$W_r = W_r' + 1, \quad s_r^+ = W_r' y_{r0}, \quad W_r' \geq 0$$

若定义技术效率指数为

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^{m} k_i \theta_i}{\sum_{r=1}^{s} {}_{r} W_r} \tag{14}$$

式中 ${}_{r}$ 是第 r 种产出的权重,且$\sum_{r=1}^{s} {}_{r} = 1$, ${}_{r} \geq 0$.

显然,技术效率指数 $0 < Z \leq 1$,它同时将投入按非径向削减,而产出按非径向扩大,不仅考虑了投入削减与产出扩大及其权重,而且还包含了投入和产出松驰. 不难发现该指数满足以下性质[8]:

性质 **1** 它不因投入产出单位的变化而变化.

性质 **2** 它是松驰量的单调减函数.

性质 **3** 它不会受平行变换的影响.

性质 **4** 它与一定参考集相关.

根据(12)和(13),可以建立测算技术效率的 DEA模型.

$$\min Z = \frac{\sum_{i=1}^{m} k_i \theta_i}{\sum_{r=1}^{s} {}_{r} W_r}$$
$$\text{s.t.} \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} = \theta_i x_{i0}, \quad \theta_i \leq 1, \quad i = 1,\cdots, m \tag{15}$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} = W_r y_{r0}, \quad W_r \geq 1, \quad r = 1,\cdots, s$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \quad \forall \lambda_j, \theta_i \geq 0$$

下面是针对(15)式的讨论.

1) 若令 $\forall \theta_i = \theta$, $W_r = 1$, $k_i = \frac{1}{m}$, 并用不等式表达有关松驰,(15)即(4),当 $\forall \theta_i = 1$, $W_r = W$, ${}_{r} = \frac{1}{s}$,有

关松驰也用不等式表达, (15)与 (5)等价.

2) 设 $x_{ik}=\theta_i x_{i0}$, $\forall W_r=1$, 并用不等式表示有关松驰时,得

$$
\begin{aligned}
&\min\sum_{i=1}^{m} k_i \frac{x_{ik}}{x_{i0}}\\
&\text{s. t.}\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}\leq x_{ik},\quad i=1,\cdots,m\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{ij}\geq y_{r0},\quad r=1,\cdots,s\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1,\quad \forall\lambda_j,\ x_{ik}\geq 0
\end{aligned}
\qquad (16)
$$

(16)式的思想与 KTE测算方法相类似,区别在于(16)式可以直接测算技术效率,而 KTE方法必须通过(1)式和(2)式分两步间接测算.

3) 当 $\forall W_r=1$, $k_i=\frac{1}{m}$并用不等式表示松驰时, (15)式测算的是 Russell型技术效率((8)式),当去掉 $k_i=\frac{1}{m}$时,它是加权型 Russell技术效率((式)9)).

4) 当令 $\theta_i=1-\frac{s_i^-}{x_{i0}}$, $W_r=1+\frac{s_r^+}{y_{r0}}$,且 $k_i=\frac{1}{m}$, $\_{r}=\frac{1}{s}$,并代入(15)式后,就与 (9)式完全相同.

由于(15)式为分式规划,但通过 Charnes-Cooper变换[9],可以化成等价的线性规划,设

$$
t>0,\ \theta_i=\frac{T_i}{t},\quad W_r=\frac{U_r}{t},\quad d_j=\frac{\lambda_j}{t}\qquad (17)
$$

将(17)式代入(15)式,并令

$$
\sum_{r=1}^{s}\_{r}U_r=1
$$

有

$$
\begin{aligned}
&\min Z=\sum_{i=1}^{m}k_i T_i\\
&\text{s. t.}\sum_{j=1}^{n}d_j x_{ij}=T_i x_{i0},\quad T_i\leq t,\quad i=1,\cdots,m\\
&\sum_{j=1}^{n}d_j y_{rj}=U_r y_{r0},\quad U_r\geq t,\quad r=1,\cdots,s\\
&\sum_{r=1}^{s}\_{r}U_r=1\\
&\sum_{j=1}^{n}d_j=t,\quad\forall d_j\geq 0,\ T_i\geq 0,\ t>0
\end{aligned}
\qquad (18)
$$

如果规划(18)式的最优解为 Z^*, d_j^*, T_i^*, U_r^*, t^*,则决策单元 (X_0,Y_0)具有松驰的技术效率是 Z^*

一般来讲,在不考虑投入产出权重的情况下,其它方法因考虑因素较简单而使所测算的决策单元技术效率通常都大于或等于(15)或(18)的结果,理论上, Tone方法应与(15)或(18)完全相同.

4 技术有效决策单元识别和技术非有效决策单元改进

定义　若规划(15)式的最优解为 λ_j^*, θ_i^*, W_r^*, 当 $\theta_i^*=W_r^*=1$时,称被评价决策单元 (X_0,Y_0)技术有效. 否则,为技术非有效.

定理 1　当规划(15)的最优值 $Z^*=1$时,决策单元 (X_0, Y_0)技术有效.

证明　当 $Z^*=1$时,由 (14)知

$$\sum_{i=1}^{m} k_i\theta_i^* = \sum_{r=1}^{s} \_{r} W_r$$

而 $0 \le k_i \le 1$, $0 < \theta_i^* \le 1$, $0 \le \_{r} \le 1$, $W_r \ge 1$, 故只能是 $\forall\, \theta_i^* = W_r = 1$, 由定义知 ,决策单元 (X_0, Y_0)技术有效 .

定理 1说明运用模型 (15)或 (18)不仅可以测算决策单元技术效率 ,而且还可同时识别决策单元的技术有效性 .

假如某决策单元为技术非有效 ,有

定理 **2** 令

$$\hat{x}_{i0} = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^* x_{ij} = \theta_i^* x_{i0} = \frac{T_i^*}{t^*} x_{i0},\ i = 1,\cdots,m$$
$$\hat{y}_{r0} = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^* y_{rj} = W_r y_{r0} = \frac{U_r^*}{t^*} y_{r0},\ r = 1,\cdots,s \tag{19}$$

则新的决策单元 $(\hat{X}_0, \hat{Y}_0)$相对于原 n 个决策单元将一定技术有效 .

证明 当测算决策单元 $(\hat{X}_0, \hat{Y}_0)$的技术效率时 ,根据 (15)有

$$\min \frac{\sum_{i=1}^{m} k_i \hat{\theta}_i}{\sum_{r=1}^{s} \_{r} \hat{W}_r}$$
$$\text{s. t.} \sum_{j=1}^{n} \hat{\lambda}_j x_{ij} + \hat{\lambda}_{n+1} \hat{x}_{i0} = \hat{\theta}_i \hat{x}_{i0},\quad \hat{\theta}_i \le 1,\quad i = 1,\cdots,m$$
$$\sum_{j=1}^{n} \hat{\lambda}_j y_{rj} + \hat{\lambda}_{n+1} \hat{y}_{r0} = \hat{W}_r \hat{y}_{r0},\quad \hat{W}_r \ge 1,\quad r = 1,\cdots,s \tag{20}$$
$$\sum_{j=1}^{n} \hat{\lambda}_j + \hat{\lambda}_{n+1} = 1,\quad \forall \hat{\lambda}_j \ge 0,\ j = 1,\cdots,n+1$$

假如 $\hat{\theta}_i^*$, $\hat{W}_r$, $\hat{\lambda}_j^*$, $j = 1,\cdots,n+1$,为 (2)的最优解 ,从 (20)约束得

$$\sum_{j=1}^{n} \hat{\lambda}_j x_{ij} + \hat{\lambda}_{n+1} \hat{x}_{i0} = \sum_{j=1}^{n} (\hat{\lambda}_j^* + \hat{\lambda}_{n+1}\lambda_j^*) x_{ij} = \hat{\theta}_i^* \hat{x}_{i0} = \hat{\theta}_i^* \theta_{i0}^* x_{i0},\quad i = 1,\cdots,m$$
$$\sum_{j=1}^{n} \hat{\lambda}_j y_{rj} + \hat{\lambda}_{n+1} \hat{y}_{r0} = \sum_{j=1}^{n} (\hat{\lambda}_j^* + \hat{\lambda}_{n+1}\lambda_j^*) y_{rj} = \hat{W}_r \hat{y}_{ro} = \hat{W}_r W_r y_{r0},\quad r = 1,\cdots,s$$
$$\sum_{j=1}^{n} \hat{\lambda}_j + \hat{\lambda}_{n+1} = \sum_{j=1}^{n} (\hat{\lambda}_j^* + \hat{\lambda}_{n+1}\lambda_j^*) = 1$$

且

$$0 \le \hat{\theta}_i^* \theta_i^* \le 1,\quad \hat{W}_r W_r \ge 1$$

因此 ,$\hat{\lambda}_j^* + \hat{\lambda}_{n+1}\lambda_j^*$,$\hat{\theta}_i^* \theta_i^*$,$\hat{W}_r W_r$ 一定也是 (15)的可行解 ,故

$$\frac{\sum_{i=1}^{m} k \hat{\theta}_i^* \theta_i^*}{\sum_{r=1}^{s} \_{r} \hat{W}_r W_r} \ge \frac{\sum_{i=1}^{m} k_i \theta_i^*}{\sum_{r=1}^{s} \_{r} W_r} \tag{21}$$

因为 $0 \le \hat{\theta}_i^* \le 1$, $0 \le \theta_i^* \le 1$, $\hat{W}_r \ge 1$, $W_r \ge 1$.

\ (21)式成立必有

$$\hat{\theta}_i^* = 1,\quad \hat{W}_r = 1,\quad i = 1,\cdots,m;\ r = 1,\cdots,s$$

根据定义 ,决策单元 $(\hat{X}_0, \hat{Y}_0)$技术有效 .

5 数值例子

为了说明本文方法的有效性,考虑如表 1的数值例子,同时为了进行比较研究,也将其他方法的测算结果列入表 2中(暂不考虑投入产出权重).

表 1 决策单元投入产出数据

DMU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Input 1	5	2	1	2	1	3	4	2	4	5
Input 2	3	5	3	4	1	2	3	11	5	3
Output 1	5	3.5	4	5	1	5	6	7	9	3
Output 2	4	4	3.5	4.5	2	1.5	6.5	8	4	6.5

表 2 决策单元技术效率

DMU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KTE	0.6394	0.6131	1	0.8868	1	1	1	1	1	0.875
FTE(BCC)	0.7886	0.6716	1	0.9476	1	1	1	1	1	1
RTE	0.7167	0.6667	1	0.9439	1	1	1	1	1	0.9
Tone	0.6372	0.6154	1	0.9439	1	1	1	1	1	0.59996
Ours	0.6372	0.5957	1	0.9439	1	1	1	1	1	0.6

表 2中测算结果说明, FTE(input-oriented BCC)和 RTE测算结果比本文结果要高,这是因为前者只考虑投入及其松弛,而没有反映产出及其松弛对技术效率的影响; 而 KTE虽然仅考虑投入,但由于其分两步测算,测算角度有所不同,因而其测算结果不一定偏低(如决策单元 4); Tone与本文结果基本一致,但决策单元 2除外,这是由于前者的近似处理所致;根据定理 1,决策单元 3, 5, 6, 7, 8, 9一定技术有效.

6 结束语

技术效率及其测算迄今仍是实践家和学者关心的热点问题,而传统的技术效率测算方法在考虑投入、产出及其松弛与权重诸方面都尚不尽如意.正是基于此,本文定义了综合地反映以上诸因素的新技术效率指数,并借鉴 DEA思想,提出了测算该技术效率指数的扩展 DEA模型以及模型求解、技术有效决策单元的识别和技术非有效决策单元的改进等方法. 这无疑是对技术效率测算方法的重要补充,也是对 DEA方法扩展的又一尝试.

参考文献:

[1] Koopmans T C. An analysis of production as an efficient combination of activity[A]. Activity Analysis of Production and Allocation[C]. T C Koopmans (Ed.), Cowles Commission for research in Economics. Monograph 13, New York: Wiley, 1951.

[2] Farell M J. The measurement of productive efficiency[J]. Journal of the Royal Statistic Society Ser. A, 1957, 120: 253- 281.

[3] Ruggiero J. Measuring technical efficiency[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 121: 138- 150.

[4] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2: 429- 444.

[5] Banker R, Charnes A, Cooper, W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1984, 30: 1078- 1092. (下转第 83页)

4　主要结论

本文从规划的角度,通过目标规划的方法初步建立了一个 PREE复杂系统的综合集成模型,预测在既定的目标和一定的约束条件下,各子系统未来发展的状态.这个模型反映了各子系统的主要要素及其主要联系. 它是在可持续发展领域的一个有益的尝试.

作为一项应用研究,本文不仅从理论上探讨了模型的形式,同时通过对北京市实证研究,验证了这种方法的可行性和有效性. 求解得到的 2000年结果与目前的事实基本相符,体现了该模型具有可操作性.

参考文献:

[1]　United Nations Commission on Sustainable Development. 1996. Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies [R]. New York: United Nations Publication.

[2]　World Bank. Word Bank Develops New System to Measure Wealth of Nations [M] Washington DC. 1995.

[3]　United Nations. System of National Accounts 1993[M]. New York: United Nations, 1993.

[4]　Cocklin C R. Methodological problems in evaluating sustainability[J]. Environment Conservation, 1989, 16(4): 27- 32.

[5]　Moffatt I. On measuring sustainable development indicators[J]. The International Journal of Sustainable Development and World Ecology. 1994, 1(2): 102- 112.

[5]　刘培哲.可持续发展理论与《中国 21世纪议程》[A]. 北京:《中国可持续发展指标体系研究》课题组, 1997: 1- 11.

[6]　中国科学院可持续发展研究组.中国可持续发展研究报告(2000).北京:科学出版社, 2001.

[7]　关晓涵,顾培亮.系统理论在可持续发展中的应用研究[J].科学管理研究, 1999, 17(3): 41- 45.

[8]. 汪应洛, 蒋正华. 人口与经济协调发展规划模型 [A].中国经济的发展与模型 [C].北京: 中国财政经济出版社, 1990: 140- 146.

[9]　曾嵘,魏一鸣,范英,李之杰. 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.

[10]　曾嵘,魏一鸣,范英,李之杰. 北京市人口、资源、环境与经济协调发展分析与评价指标体系 [J]. 中国管理科学, 2000, 8(专辑): 310- 318.

[11]　曾嵘. 人口、资源、环境与经济协调发展的多目标集成模型及其应用 [D]. 北京: 中国科学院科技政策与管理科学研究所, 2001: 43- 63.

[12]　北京市统计局.北京五十年 [M].北京: 北京市统计局, 1999.

(上接第 73页)

[6]　Russell R R. Measure of technical efficiency[J]. Journal of Economic Theory, 1985, 35: 109- 126.

[7]　Ruggiero J, Bretschneider S. The weighted Russell measure of technical efficiency[J]. European Journal of Operation Research, 1998, 108: 438- 451.

[8]　Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130: 498- 509.

[9]　Charnes A, Cooper W W. Programming with linear fractional functionals[J]. Naval Research Logistics Quarterly, 1962, 15: 333- 334.