

控制与决策

Control and Decision

基于共享回馈DEA模型的中国省际 高技术产业创新效率研究

朱钰, 杨锋, 江利景, 刘培

引用本文:

朱钰, 杨锋, 江利景, 等. 基于共享回馈DEA模型的中国省际 高技术产业创新效率研究[J]. *控制与决策*, 2020, 35(8): 1997–2005.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1737>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[供应受限和需求不确定环境下制造商技术选择](#)

Manufacturer's technology choice when capacity is limited and demand is uncertain
控制与决策. 2020, 35(7): 1689–1696 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1351>

[考虑投入产出关系与效率的环境治理成本预测方法](#)

Cost forecast method of environmental governance based on input–output relationship and efficiency
控制与决策. 2020, 35(4): 993–1003 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.0622>

[基于DEA模型的区域成人教育资源配置效率研究](#)

Research on allocation efficiency of regional adult education resources using the DEA model
控制与决策. 2020, 35(3): 721–727 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.0891>

[带有偏序锥的DEARA模型研究及应用](#)

Research and application of DEARA model with preference constrained cone
控制与决策. 2018, 33(7): 1171–1180 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.0499>

[基于基尼系数-交叉效率的多属性决策方法](#)

Multi–attribute decision–making method based on Gini coefficient and cross efficiency
控制与决策. 2018, 33(6): 1123–1128 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.0332>

基于共享回馈DEA模型的中国省际 高技术产业创新效率研究

朱 钰^{1,2†}, 杨 锋², 江利景², 刘 培²

(1. 安徽工程大学 管理工程学院, 安徽 芜湖 241000; 2. 中国科学技术大学 管理学院, 合肥 230026)

摘 要: 数据包络分析 (data envelopment analysis, DEA) 已被证明是测度高技术产业创新绩效的好方法, 但现有文献忽略了现实中企业会将创新带来的经济效益回馈至两个子阶段进行再研发和生产, 从而保证持续创新. 基于此, 结合高技术产业创新过程的特征, 将其分为技术研发和商业转化两个子阶段, 提出考虑共享回馈 DEA 模型的两阶段效率测度模型, 不仅拓展了数据包络分析方法, 也促进了创新绩效管理研究. 实证结果表明: 中国高技术产业整体效率良好, 仍有提升空间, 但省际发展不均衡, 各省内部不同阶段效率也存在明显的差异, 实行有针对性的管理是提升绩效的有效措施.

关键词: 高技术产业; 数据包络分析; 共享回馈; 两阶段; 创新效率

中图分类号: F204; F276.44

文献标志码: A

Innovation efficiency of Chinese provincial high-tech industries based on shared feedback DEA model

ZHU Yu^{1,2†}, YANG Feng², JIANG Li-jing², LIU Pei²

(1. School of Management Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China; 2. School of Management, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: Data envelopment analysis (DEA) has been proved to be an excellent approach for measuring of high-tech industry innovation performance, but the existing literatures ignore that enterprises will return the economic benefits of innovation to two-stages for further development and production, so as to ensure continuous innovation. Therefore, this paper combines the characteristics of high-tech industry innovation process into two sub-stages of technology research and development and commercial transformation. A two-stage efficiency measure model considering shared feedback is proposed, which not only extends the DEA methods, but also promotes the research of innovation performance management. The empirical results show that the overall efficiency of Chinese high-tech industries is good, and there is still room for improvement. However, the inter-provincial development is unbalanced, and there are obvious differences in the efficiency of different stages within the provinces. The implementation of targeted management is an effective measure to improve the innovation performance.

Keywords: high-tech industries; data envelopment analysis (DEA); shared feedback; two-stage; innovation efficiency

0 引 言

创新, 是决定一个国家竞争成败的关键, 高技术产业属于知识和技术密集型产业, 是国家创新的风向标. 近年来, 在国家的重视下, 高技术产业取得了较大的发展. 《中国高技术产业统计年鉴》显示, 2016 年高技术产业的主营业务收入突破 15 万亿元, 较 2010 年翻了一番, 与此同时, 研发经费也以年均超过 20% 的增长速度达到了 2016 年的 2 915.7 亿元. 虽然研发投入

和产出规模与创新绩效关系密切, 但并不能全面反映我国高技术产业绩效水平的高低^[1]. 昔日依靠巨额财政补贴, 曾一度是全球产量最大的光伏企业——无锡尚德的破产重组, 充分证明了“高投入、高产出”并不意味着较高的创新绩效水平. 越来越多的学者们采用创新效率来表征高技术产业的绩效^[1-3], 这里的创新效率是一个相对的指标, 指当创新投入不变时, 最大程度地生产创新产出; 或者, 在保持创新产出

收稿日期: 2018-12-20; 修回日期: 2019-05-12.

基金项目: 安徽省哲学社科青年项目 (AHSKQ2015D51).

责任编委: 李勇建.

†通讯作者. E-mail: zhuyu_auts@sina.com.

不变的同时,最小化创新投入.可以看出,创新效率值的高低更能体现创新能力和发展水平,对其进行正确的测度是决策者实行管理决策的有力工具^[3-4].

目前,国内外对高技术产业创新效率的评价方法主要以随机前沿分析(stochastic frontier analysis, SFA)和数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)为主^[3,5],但是SFA模型基本假设较为复杂,导致模型很难进一步扩展.由Charnes等^[6]创立的DEA方法可以很好地处理多输入和多输出系统评价问题,特别是Färe等^[7-8]提出了网络DEA概念,打开系统内部“黑箱”之后,绩效评估可以深入考察每一个生产环节可能存在的对生产系统整体效率的影响,在多个领域得到了广泛的应用^[9-11].

最初,学者们将高技术产业创新过程看成一个整体,不考虑其内部结构,而是直接测算整体创新效率^[12].实际上,创新是一个非常复杂的过程,单纯只考虑整体效率,使得评价结果过于笼统而无法找出效率低下的真正原因.随着研究的不断深入,近来有学者将创新过程分解为技术研发和商业转化两个阶段,采用传统的两阶段DEA模型评估高技术产业的创新绩效^[13],即第1阶段的产出全部转化为第2阶段的投入.

现实中,企业在技术研发和商业转化两个阶段都需要大量的资金来维持正常运转,目前我国科技金融还不够发达,政府的资金主要还是用于具有较大外部性的基础研发活动,《中国区域创新能力评价报告》(2016)显示,现阶段政府的经费支持主要集中在技术研发阶段,且分配结构仍然是以科研院所和高校为主,企业得到的配额较小.那么,对于高技术企业而言,将部分利润回馈至技术研发和商业转化两个阶段,是其能够进行持续创新的一个非常关键的环节,但现有文献忽略了这个极其重要的问题.此外,就现有的DEA有关文献来看,虽然已有文献提出了回馈变量^[14],两个子阶段共享资源^[2,15],但是暂未有文献指出两个子阶段共享的资源来自于第2阶段的产出回馈.

基于此,本文建立基于共享回馈的两阶段DEA模型,对中国大陆30个省、市、自治区(以下简称省)的高技术产业整体和子阶段创新效率进行测度.研究结果发现我国高技术产业创新效率整体良好,但省际之间发展不平衡,同一个省份不同的阶段差异也较大.本研究的结果一方面可以为政府提供推动高技术产业发展的新思路,另一方面也为企业的管理者在

决策时提供智力支持.

1 基于共享回馈的两阶段DEA模型

1.1 基于共享回馈的两阶段生产结构

假设一个决策单元DMU_j($j = 1, 2, \dots, n$)如图1所示要经历一个串联结构的两个阶段. DMU_j在第1阶段投入 $x_{ij}(i = 1, 2, \dots, m)$ 种资源,生产出 $z_{dj}(d = 1, 2, \dots, D)$ 种产品,同时, z_{dj} 继续作为第2阶段的投入,最终产出两种产品,分别为 $y_{rj}(r = 1, 2, \dots, s)$ 和 $f_{gj}(g = 1, 2, \dots, p)$.其中, f_{gj} 是回馈变量(feedback variable),由第1阶段和第2阶段共享,假定分配给第1阶段的回馈量为 $\alpha_{gj}f_{gj}(0 \leq \alpha_{gj} \leq 1)$,分配给第2阶段的回馈量是 $(1 - \alpha_{gj})f_{gj}$,根据Cook等^[16]对 α_{gj} 的区间约束,设 $L_{gj}^1 \leq \alpha_{gj} \leq L_{gj}^2$.

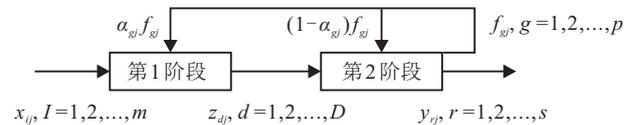


图1 共享回馈的两阶段生产结构

1.2 基于共享回馈两阶段的总效率

首先根据Banker等^[17]提出的BCC模型分别计算第1阶段和第2阶段的效率值,见如下两个模型:

$$\begin{aligned} & \max \frac{\sum_{d=1}^D h_d^1 z_{do} + u^A}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} + \sum_{g=1}^p \omega_g^1 \alpha_{go} f_{go}} \\ & \text{s.t.} \frac{\sum_{d=1}^D h_d^1 z_{dj} + u^A}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{g=1}^p \omega_g^1 \alpha_{gj} f_{gj}} \leq 1; \\ & L_{gj}^1 \leq \alpha_{gj} \leq L_{gj}^2, \\ & g = 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, n; \\ & v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; \\ & \omega_g^1 \geq 0, g = 1, 2, \dots, p; \\ & h_d^1 \geq 0, d = 1, 2, \dots, D; \\ & u^A \text{ free.} \end{aligned} \tag{1}$$

模型(1)中, v_i 、 ω_g^1 和 h_d^1 分别是第1阶段的初始投入 x_{ij} 、回馈投入 $\alpha_{gj}f_{gj}$ 以及产出 z_{dj} 的未知权重变量.此外,为了保证规模收益可变,对 u^A 不设置约束.

$$\max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} + \sum_{g=1}^p \omega_g f_{go} + u^B}{\sum_{d=1}^D h_d^2 z_{do} + \sum_{g=1}^p \omega_g^2 (1 - \alpha_{go}) f_{go}}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{g=1}^p \omega_g f_{gj} + u^B \\
 \text{s.t. } & \frac{\sum_{d=1}^D h_d^2 z_{dj} + \sum_{g=1}^p \omega_g^2 (1 - \alpha_{gj}) f_{gj}}{\sum_{d=1}^D h_d^2 z_{dj} + \sum_{g=1}^p \omega_g^2 (1 - \alpha_{gj}) f_{gj}} \leq 1; \\
 & L_{gj}^1 \leq \alpha_{gj} \leq L_{gj}^2, \\
 & g = 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, n; \\
 & h_d^2 \geq 0, d = 1, 2, \dots, D; \\
 & \omega_g^2 \geq 0, g = 1, 2, \dots, p; \\
 & u_r \geq 0, r = 1, 2, \dots, s; \\
 & u^B \text{ free.} \tag{2}
 \end{aligned}$$

模型(2)中: h_d^2, ω_g^2, u_r 和 ω_g 分别是第2阶段的初始投入 z_{dj} , 回馈投入 $(1 - \alpha_{gj})f_{gj}$ 以及产出 y_{rj}, f_{gj} 的未知权重变量. 同理, 这里对 u^B 也不设置约束.

从模型(1)和(2)各自的目标函数可以看出, 两个阶段对中间变量和回馈变量的要求不同. 因此, 从整体的角度去权衡, 力求得到一组最优权重使得整个过程的总体效率最大化, 是解决这一矛盾的有效方法. 根据以往研究, 假设在模型(1)和(2)中, 对所有 $d = 1, 2, \dots, D$, 有 $h_d^1 = h_d^2 = h_d$, 同时, 对于回馈变量 $g = 1, 2, \dots, p$, 有 $\omega_g^1 = \omega_g^2 = \omega_g$ [15,18].

在上述对于权重的假设下, 利用前后两个阶段效率的加权平均和来计算整个生产系统的整体效率 [15,18], 见如下模型:

$$\begin{aligned}
 \theta_o^* = & \max \left[\gamma_1 \frac{\sum_{d=1}^D h_d z_{do} + u^A}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} + \sum_{g=1}^p \omega_g \alpha_{go} f_{go}} + \right. \\
 & \left. \gamma_2 \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} + \sum_{g=1}^p \omega_g f_{go} + u^B}{\sum_{d=1}^D h_d z_{do} + \sum_{g=1}^p \omega_g (1 - \alpha_{go}) f_{go}} \right]. \\
 \text{s.t. } & \frac{\sum_{d=1}^D h_d z_{dj} + u^A}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{g=1}^p \omega_g \alpha_{gj} f_{gj}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n; \\
 & \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{g=1}^p \omega_g f_{gj} + u^B}{\sum_{d=1}^D h_d z_{dj} + \sum_{g=1}^p \omega_g (1 - \alpha_{gj}) f_{gj}} \leq 1, \\
 & j = 1, 2, \dots, n; \\
 & L_{gj}^1 \leq \alpha_{gj} \leq L_{gj}^2,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & g = 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, n; \\
 & v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; \\
 & \omega_g \geq 0, g = 1, 2, \dots, p; \\
 & h_d \geq 0, d = 1, 2, \dots, D; \\
 & u_r \geq 0, r = 1, 2, \dots, s; \\
 & u^A, u^B \text{ free.} \tag{3}
 \end{aligned}$$

γ_1, γ_2 分别为模型(3)前后两个阶段的权重, 且 $\gamma_1 + \gamma_2 = 1$. 通常根据每个阶段的投入资源占整个生产系统中投入资源的比重来确定 γ_1 和 γ_2 的取值范围 [18], 见下式:

$$\begin{aligned}
 \gamma_1 = & \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} + \sum_{g=1}^p \omega_g \alpha_{go} f_{go}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} + \sum_{d=1}^D h_d z_{do} + \sum_{g=1}^p \omega_g f_{go}}, \\
 \gamma_2 = & \frac{\sum_{d=1}^D h_d z_{do} + \sum_{g=1}^p \omega_g (1 - \alpha_{go}) f_{go}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} + \sum_{d=1}^D h_d z_{do} + \sum_{g=1}^p \omega_g f_{go}}.
 \end{aligned}$$

由此, 基于共享回馈的模型(3)可以转化为如下分式规划模型:

$$\begin{aligned}
 \theta_o^* = & \max \frac{\sum_{d=1}^D h_d z_{do} + \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} + \sum_{g=1}^p \omega_g f_{go} + u^A + u^B}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} + \sum_{d=1}^D h_d z_{do} + \sum_{g=1}^p \omega_g f_{go}}. \\
 \text{s.t. } & \frac{\sum_{d=1}^D h_d z_{dj} + u^A}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} + \sum_{g=1}^p \omega_g \alpha_{gj} f_{gj}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n; \\
 & \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{g=1}^p \omega_g f_{gj} + u^B}{\sum_{d=1}^D h_d z_{dj} + \sum_{g=1}^p \omega_g (1 - \alpha_{gj}) f_{gj}} \leq 1, \\
 & j = 1, 2, \dots, n; \\
 & L_{gj}^1 \leq \alpha_{gj} \leq L_{gj}^2, g = 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, n; \\
 & v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; \\
 & \omega_g \geq 0, g = 1, 2, \dots, p; \\
 & h_d \geq 0, d = 1, 2, \dots, D; \\
 & u_r \geq 0, r = 1, 2, \dots, s; \\
 & u^A, u^B \text{ free.} \tag{4}
 \end{aligned}$$

由于模型(4)是非线性的,需要根据 Charnes-Cooper 变换将模型(4)转化为下面的模型:

$$\begin{aligned}
 \theta_o^* = \max & \sum_{d=1}^D \pi_d z_{do} + \sum_{r=1}^s \varepsilon_r y_{ro} + \\
 & \sum_{g=1}^p \delta_g f_{go} + u^1 + u^2. \\
 \text{s.t.} & \sum_{d=1}^D \pi_d z_{dj} + u^1 - \left(\sum_{i=1}^m \varphi_i x_{ij} + \right. \\
 & \left. \sum_{g=1}^p \delta_g \alpha_{gj} f_{gj} \right) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 & \sum_{r=1}^s \varepsilon_r y_{rj} + \sum_{g=1}^p \delta_g f_{gj} + u^2 - \left[\sum_{d=1}^D \pi_d z_{dj} + \right. \\
 & \left. \sum_{g=1}^p \delta_g (1 - \alpha_{gj}) f_{gj} \right] \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 & \sum_{i=1}^m \varphi_i x_{io} + \sum_{d=1}^D \pi_d z_{do} + \sum_{g=1}^p \delta_g f_{go} = 1; \\
 & L_{gj}^1 \leq \alpha_{gj} \leq L_{gj}^2, \quad g = 1, 2, \dots, p, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 & \pi_d \geq 0, \quad d = 1, 2, \dots, D; \\
 & \varepsilon_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s; \\
 & \delta_g \geq 0, \quad g = 1, 2, \dots, p; \\
 & \varphi_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m; \\
 & u^1, u^2 \text{ free.}
 \end{aligned} \tag{5}$$

约束条件中依然存在非线性项 $\sum_{g=1}^p \delta_g \alpha_{gj} f_{go}$, 因此令 $\beta_{gj} = \delta_g \alpha_{gj} (j = 1, 2, \dots, n)$, 则模型(5)可以等价转化为下面的线性规划模型:

$$\begin{aligned}
 \theta_o^* = \max & \sum_{d=1}^D \pi_d z_{do} + \sum_{r=1}^s \varepsilon_r y_{ro} + \\
 & \sum_{g=1}^p \delta_g f_{go} + u^1 + u^2. \\
 \text{s.t.} & \sum_{d=1}^D \pi_d z_{dj} + u^1 - \left(\sum_{i=1}^m \varphi_i x_{ij} + \right. \\
 & \left. \sum_{g=1}^p \beta_{gj} f_{gj} \right) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 & \sum_{r=1}^s \varepsilon_r y_{rj} + \sum_{g=1}^p \delta_g f_{gj} + u^2 - \left[\sum_{d=1}^D \pi_d z_{dj} + \right. \\
 & \left. \sum_{g=1}^p (\delta_g - \beta_{gj}) f_{gj} \right] \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 & \sum_{i=1}^m \varphi_i x_{io} + \sum_{d=1}^D \pi_d z_{do} + \sum_{g=1}^p \delta_g f_{go} = 1;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & L_{gj}^1 \delta_g \leq \beta_{gj} \leq L_{gj}^2 \delta_g, \\
 & g = 1, 2, \dots, p, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 & \pi_d \geq 0, \quad d = 1, 2, \dots, D; \\
 & \varepsilon_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s; \\
 & \delta_g \geq 0, \quad g = 1, 2, \dots, p; \\
 & \varphi_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m; \\
 & \beta_{go} \geq 0, \quad g = 1, 2, \dots, p; \\
 & u^1, u^2 \text{ free.}
 \end{aligned} \tag{6}$$

1.3 共享回馈下的两阶段效率分解

为了寻找效率低下的根源,需要对生产过程进行解构,分别计算每个子阶段的效率. 根据模型(6),可以得出整体最优效率值 θ_o^* 和两个子阶段的效率值. 由于模型(6)的最优解可能不唯一,导致两个子阶段的效率值也不唯一,借鉴 Chen 等^[15]的做法寻找一组权重,可以在保证整体效率不变的前提下,同时最大化第1阶段或者第2阶段的效率值. 设 θ_o^{1*} 和 θ_o^{2*} 分别为第1阶段和第2阶段的最优效率, γ_1^* 和 γ_2^* 分别是两个子阶段的最优权重,建立如下模型:

$$\begin{aligned}
 \theta_o^{1*} = \max & \frac{\sum_{d=1}^D h_d z_{do} + u^A}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} + \sum_{g=1}^p \omega_g \alpha_{go} f_{go}}. \\
 \text{s.t.} & \frac{\sum_{d=1}^D h_d z_{dj} + u^A}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{g=1}^p \omega_g \alpha_{gj} f_{gj}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 & \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{g=1}^p \omega_g f_{gj} + u^B}{\sum_{d=1}^D h_d z_{dj} + \sum_{g=1}^p \omega_g (1 - \alpha_{gj}) f_{gj}} \leq 1, \\
 & \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 & \frac{\sum_{d=1}^D h_d z_{do} + \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} + \sum_{g=1}^p \omega_g f_{go} + u^A + u^B}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} + \sum_{d=1}^D h_d z_{do} + \sum_{g=1}^p \omega_g f_{go}} = \theta_o^*; \\
 & \gamma_1^* \frac{\sum_{d=1}^D h_d z_{do} + u^A}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} + \sum_{g=1}^p \omega_g \alpha_{go} f_{go}} \leq \theta_o^*; \\
 & L_{gj}^1 \leq \alpha_{gj} \leq L_{gj}^2, \quad g = 1, 2, \dots, p, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 & v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\omega_g \geq 0, \quad g = 1, 2, \dots, p; \\
 &h_d \geq 0, \quad d = 1, 2, \dots, D; \\
 &u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s; \\
 &u^A, u^B \text{ free.}
 \end{aligned} \tag{7}$$

通过 Charnes-Cooper 变换, 将模型 (7) 转换为如下线性规划模型:

$$\begin{aligned}
 \theta_o^{1*} &= \max \sum_{d=1}^D \pi_d z_{do} + u^1. \\
 \text{s.t.} \quad &\sum_{d=1}^D \pi_d z_{dj} + u^1 - \left(\sum_{i=1}^m \varphi_i x_{ij} + \sum_{g=1}^p \beta_{gj} f_{gj} \right) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 &\sum_{r=1}^s \varepsilon_r y_{rj} + \sum_{g=1}^p \delta_g f_{gj} + u^2 - \left[\sum_{d=1}^D \pi_d z_{dj} + \sum_{g=1}^p (\delta_g - \beta_{gj}) f_{gj} \right] \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 &(1 - \theta_o^*) \left(\sum_{d=1}^D \pi_d z_{do} + \sum_{g=1}^p \delta_g f_{go} \right) + \sum_{r=1}^s \varepsilon_r y_{ro} + u^1 + u^2 - \theta_o^* \sum_{i=1}^m \varphi_i x_{io} = 0; \\
 &\gamma_1^* \left(\sum_{d=1}^D \pi_d z_{do} + u^1 \right) \leq \theta_o^*; \\
 &\sum_{i=1}^m \varphi_i x_{io} + \sum_{g=1}^p \beta_{go} f_{go} = 1; \\
 &L_{gj}^1 \delta_g \leq \beta_{gj} \leq L_{gj}^2 \delta_g, \\
 &\quad g = 1, 2, \dots, p, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 &\pi_d \geq 0, \quad d = 1, 2, \dots, D; \\
 &\varepsilon_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s; \\
 &\delta_g \geq 0, \quad g = 1, 2, \dots, p; \\
 &\varphi_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m; \\
 &u^1, u^2 \text{ free.}
 \end{aligned} \tag{8}$$

由模型 (8) 得到第 1 阶段最优效率值 θ_o^{1*} 之后, 可以按照公式 $\theta_o^{2*} = \frac{\theta_o^* - \gamma_1^* \theta_o^{1*}}{\gamma_1^*}$ 计算出第 2 阶段的效率值. 以此类推, 可以在确保总效率维持在 θ_o^* 的情况下, 建立如下模型最大化第 2 阶段的效率值 θ_o^{2*} , 并由公式推算出第 1 阶段效率值 θ_o^{1*} :

$$\begin{aligned}
 \theta_o^{2*} &= \max \sum_{r=1}^s \varepsilon_r y_{ro} + \sum_{g=1}^p \delta_g f_{go} + u^2. \\
 \text{s.t.} \quad &\sum_{d=1}^D \pi_d z_{dj} + u^1 - \left(\sum_{i=1}^m \varphi_i x_{ij} + \sum_{g=1}^p \beta_{gj} f_{gj} \right) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 &\sum_{r=1}^s \varepsilon_r y_{rj} + \sum_{g=1}^p \delta_g f_{gj} + u^2 - \left[\sum_{d=1}^D \pi_d z_{dj} + \sum_{g=1}^p (\delta_g - \beta_{gj}) f_{gj} \right] \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 &(1 - \theta_o^*) \left(\sum_{d=1}^D \pi_d z_{do} + \sum_{g=1}^p \delta_g f_{go} \right) + \sum_{r=1}^s \varepsilon_r y_{ro} + u^1 + u^2 - \theta_o^* \sum_{i=1}^m \varphi_i x_{io} = 0; \\
 &\gamma_2^* \left(\sum_{r=1}^s \varepsilon_r y_{ro} + \sum_{g=1}^p \delta_g f_{go} + u^2 \right) \leq \theta_o^*; \\
 &\sum_{d=1}^D \pi_d z_{do} + \sum_{g=1}^p (\delta_g - \beta_{go}) f_{go} = 1; \\
 &L_{gj}^1 \delta_g \leq \beta_{gj} \leq L_{gj}^2 \delta_g, \\
 &\quad g = 1, 2, \dots, p, \quad j = 1, 2, \dots, n; \\
 &\pi_d \geq 0, \quad d = 1, 2, \dots, D; \\
 &\varepsilon_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s; \\
 &\delta_g \geq 0, \quad g = 1, 2, \dots, p; \\
 &\varphi_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m; \\
 &u^1, u^2 \text{ free.}
 \end{aligned} \tag{9}$$

2 实证研究

2.1 概念模型与指标选取

如前所述, 高技术产业的创新活动是一个复杂的生产过程, 根据文献以及对高技术企业的实地调研, 本文将这个生产过程解析为技术研发和商业转化两个子阶段, 如图 2 所示. 第 1 阶段是企业进行技术研发的过程, 反映的是研发投入创造科技成果的能力, 采用 R&D 人员全时当量 (X_1) 和 R&D 经费内部支出 (X_2) 作为投入指标^[1], 产出指标则采用专利申请数 (Z_1) 和有效发明专利数 (Z_2)^[5]; 第 2 阶段是将研发成果进行商业转化的过程, 反映的是科技成果市场化的能力, Z_1 和 Z_2 作为投入, 产出则采用新产品开发项目数 (Y_1)、主营业务收入 (Y_2)^[2,5]. 不同于以往文献, 本文关注到企业会将商业转化阶段产生的部分经济收益回馈至两个子阶段来保证持续创新. 由于无法获得具体的反馈比例, 根据国家统计局、科学技术部及财政部发布的《2017 年全国科技经费投入统计公报》中提出的高技术制造业 R&D 经费与主营业务收入之比为 2% 来表征回馈变量, 即企业会拿主营业务收入的 2% (F) 反哺至两个阶段进行技术再研发和商业化生产, 形成一个良性正回馈效应. 此外, 鉴于企业通常都

是拿上一年的利润投入本年度进行生产,因此,在图2中用虚线表示反馈的是上一年的收入。

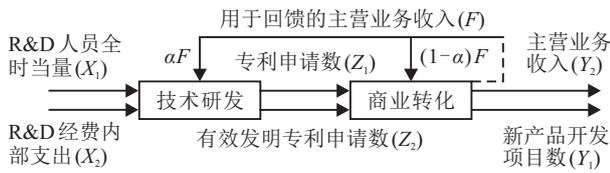


图2 高技术产业创新活动结构

除此之外,在分析投入到产出的转化过程时,时滞是一个重要的考虑因素.有学者采用相关和回归分析来计算时滞^[13].但由于缺乏理论基础和合适的的数据,在创新领域并没有一个被普遍接受的时滞^[19],而且一些学者通过实证检验发现,时滞对创新效率的结果并没有显著的影响^[4,19].根据Hollanders等^[4]和Lee等^[19]的研究对本文的数据进行线性回归分析,分析显示不同时期的变量之间没有显著关系.因此本文没有使用时滞,即第1阶段的投入 X_1 和 X_2 、中间产出 Z_1 和 Z_2 以及最终产出 Y_1 和 Y_2 全部使用2015年的数据.对于企业回馈于两个阶段的部分收益,考虑到上一期的收入才能回馈至本期进行生产,选择2014年的数据,所有数据均来源于《中国高技术产业统计年鉴》.

2.2 中国省际高技术产业创新效率结果分析

2.2.1 中国高技术产业创新效率整体分析

假设回馈到两个子阶段的分配比例取值范围为 $0.2 \leq \alpha_j \leq 0.8$,表1的第2~第4列显示的是在中国省际高技术产业创新整体效率最优的情况下,优先第1阶段时,得出的整体最优效率值 θ_0^* 、技术研发阶段最优效率值 θ_0^{1*} 以及根据前文的公式直接计算出的商业转化阶段的效率值 θ_0^2 .第5列和第6列显示的是保持整体最优效率不变,优先第2阶段时,第1阶段效率值 θ_0^1 和商业转化阶段的最优效率值 θ_0^{2*} .根据1.3节中的模型(8)和(9),不论优先哪一个子阶段,前提都是必须要保证整体效率最优,所以 θ_0^* 始终不变.限于篇幅,这里没有列举出两个子阶段的最优权重 γ_1^* 和 γ_2^* 以及共享回馈资源的最优比例 α^* ,感兴趣的读者可以向作者索要.

从表1可以看出,考察期内我国高技术产业整体创新效率的均值为0.8741,整体状况良好,仍有提升空间,各省之间的差异较大,且存在显著的阶段差异.根据本文构建的模型,若某个省份高技术产业整体创新效率有效,则两个子阶段也必然有效,反之也成立.如表1所示,不论优先第1还是第2阶段,北京、江苏、浙江、广东和青海这5个省份的整体及两个子阶段的效率都是有效的.

表1 中国省际高技术产业创新效率评价结果

省份	整体效率	第1阶段优先时		第2阶段优先时	
	θ_0^*	θ_0^{1*}	θ_0^2	θ_0^1	θ_0^{2*}
北京	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
天津	0.9216	1.0000	0.8936	0.7029	1.0000
河北	0.7930	0.8905	0.7367	0.4344	1.0000
山西	0.8651	0.7557	0.9097	0.5348	1.0000
内蒙古	0.7306	0.3116	0.9954	0.3043	1.0000
辽宁	0.8872	1.0000	0.8283	0.6709	1.0000
吉林	0.8770	0.4271	1.0000	0.4271	1.0000
黑龙江	0.7327	1.0000	0.5119	0.5737	0.8642
上海	0.9681	1.0000	0.9527	0.9019	1.0000
江苏	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
浙江	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
安徽	0.9391	1.0000	0.8895	1.0000	0.8895
福建	0.9172	1.0000	0.8797	0.7338	1.0000
江西	0.8929	1.0000	0.8434	0.6617	1.0000
山东	0.9846	1.0000	0.9778	1.0000	0.9778
河南	0.9267	0.5887	1.0000	0.5887	1.0000
湖北	0.9060	1.0000	0.8479	0.7542	1.0000
湖南	0.8887	1.0000	0.8329	0.6668	1.0000
广东	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
广西	0.8646	0.5022	0.9684	0.3917	1.0000
海南	0.7695	1.0000	0.5375	1.0000	0.5375
重庆	0.9181	1.0000	0.8883	0.6938	1.0000
四川	0.9498	1.0000	0.9221	0.8588	1.0000
贵州	0.7605	1.0000	0.5673	0.9013	0.6468
云南	0.7267	0.9888	0.4527	0.8531	0.5946
陕西	0.8158	1.0000	0.6964	0.5318	1.0000
甘肃	0.7206	0.9884	0.4274	0.8048	0.6284
青海	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
宁夏	0.6885	0.5384	1.0000	0.5384	1.0000
新疆	0.7782	1.0000	0.4836	1.0000	0.4836
均值	0.8741	0.8997	0.8348	0.7510	0.9207

在最优第1阶段效率时,两个子阶段的平均效率值分别为0.8997和0.8348,差异不大,且与整体效率平均值的差别也较小;但在最优第2阶段时,两个子阶段的平均效率值分别为0.7510和0.9207,差异较大,且与整体效率平均值差别也较大.从实证结果来看,当决策单元更注重商业转化时,虽然整体效率未发生变化,但技术研发效率下降明显.

通过对两阶段效率进行分解,发现即使优先技术研发阶段,内蒙古、吉林、河南、广西和宁夏等5个省份,第1阶段的效率值仍远低于第2阶段,拖累了该地区的整体创新效率.相对应地,海南和新疆在第2阶段优先的情况下,商业转化效率值仍然只有技术研发阶段效率的一半左右,说明科技成果转化在这两个省份比较困难.除此之外,安徽、山东和河南等省份不论优先哪一个阶段,两个子阶段的效率都没有发生任何变化.对于这些省份而言,明确知道自己存在的问题和不足,可以更有针对性地进行改进和提升.

2.2.2 中国高技术产业创新效率区域差异分析

中国各地区经济发展不平衡,高技术产业创新效率之间也存在差异,本文根据《中国高技术产业统计

年鉴》中的区域划分方法,将全国30个省份划分为东部、中部、东北和西部4大区域,对其整体效率进行分析,如图3所示。

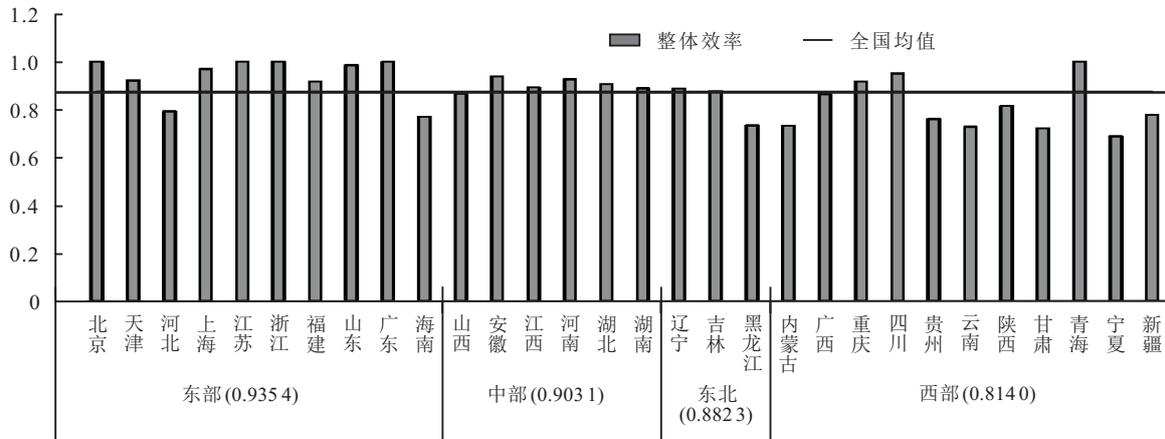


图3 中国各地区高技术产业整体效率值

从图3可以看出,东部、中部、东北和西部的整体创新效率均值呈现依次递减的状态.东部地区除河北和海南之外,其余省份的整体效率值都高于全国平均值,高技术产业的发展离不开雄厚的资本支撑、高精尖人才的持续供给以及包括市场化程度等在内的环境因素的有力支持.东部地区在这些方面具有明显的区位优势,从全国仅有的5个整体有效的省份中有4个都来自于东部也可见一斑.中部地区的创新环境虽不及东部得天独厚,但近年来通过积极发挥自身优势,许多省份在加快发展中逐步形成各自的特色,科技创新意识大幅度提升,除了山西略低于全国均值之外,其余省份都高于全国平均水平.东北地区的创新效率略高于西部,但仍然排在东部和中部之后,其仅有的3个省份都是传统的重工业基地,近两年在国家振兴东北的政策引导下,转变思想,谋求创新发展,辽宁和吉林已达到全国平均水平,黑龙江相对较低,未来需要进一步调整产业结构,由依赖资源发展转变为依靠科技发展.西部地区经济基础薄弱,在高技术产业特别是新兴高技术产业领域不具备比较优势,但青海近几年通过打造新材料产业集群,创新效率显著提升,不仅在西部处于“龙头”地位,也是唯一一个创新效率值为1的非东部省份,可以通过科技合作,辐射带动周边其他省份。

2.2.3 中国高技术产业子阶段效率类型分析

为了进一步分析各省份高技术产业内部创新效率的情况,特别是处于低效的省份,寻找提升其效率的路径,本文将两个子阶段的效率值分成4种类型.当某个省份的技术研发和商业转化的效率值都高于全国该阶段的效率平均值时,将这个省份划为第

1类,即高技术研发、高商业转化类;当某个省份的技术研发效率高于全国平均水平,但商业转化效率却低于全国平均水平时,将这个省份划为第2类,即高技术研发、低商业转化类.以此类推,共划分为4类(见表2和表3).由于本文是在保持整体效率最优的同时优先第1或者第2阶段的效率,所以如表1所示,两个子阶段的效率会出现不一致的现象.因此,在划分类型时分为2种情况,即某些省份在优先第1阶段情况下的类型归类与优先第2阶段情况下的类型归类有出入的地方,如表2和表3所示,但这恰恰能从另外一个角度说明一些问题.如安徽在优先技术研发阶段时,两个子阶段的效率值都高于全国平均水平,被归为第1类,但在优先第2阶段时,该阶段的效率不仅没有提高,而且由于全国商业转化阶段平均效率值显著提高,导致其被归为高技术研发、低商业转化的第2类.类似地,天津、福建、江西、湖南和重庆5省在优先技术研发阶段时,也被分在第1类,但优先商业转化阶段时,由于将更多的资源分配给了第2阶段,虽然使第2阶段都达到有效,但大大降低了技术研发阶段的效率,被划分到了第4类。

表2 第1阶段优先时不同类型高技术产业创新效率分类

类型	地区
高技术研发,高商业转化	北京、天津、上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东、湖北、湖南、广东、重庆、四川、青海
高技术研发,低商业转化	辽宁、黑龙江、海南、贵州、云南、陕西、甘肃、新疆
低技术研发,低商业转化	河北
低技术研发,高商业转化	山西、内蒙古、吉林、河南、广西、宁夏

表3 第2阶段优先时不同类型高技术产业创新效率分类

类型	地区
高技术研发,高商业转化	北京、上海、江苏、浙江、山东、湖北、广东、四川、青海
高技术研发,低商业转化	安徽、海南、贵州、云南、甘肃、新疆
低技术研发,低商业转化	黑龙江
低技术研发,高商业转化	天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、福建、江西、河南、湖南、广西、重庆、陕西、宁夏

对于两个子阶段效率都低的“双低”省份而言,虽然其最后的目标都是达到高技术研发、高商业转化的第1类,但提升的路径可以根据自身的实际情况来规划。比如,河北在优先第1阶段时,两个子阶段的效率值都低于全国平均水平,被划分在第3类;但在优先第2阶段效率时,商业转化效率明显提高,被划分到了第4类。说明在有限的资源下,可以先提升技术研发效率,也可以先提升商业转化效率,使资源配置效率最大化。

除此之外,有些省份无论以哪个子阶段为优先,其两个子阶段的效率值以及分类都未发生变化。比如海南和新疆,始终都被划分为第2类,既然优先第2阶段都未能提高该阶段的效率,管理者在做决策时应该考虑资源的分配问题。

3 结论

高技术产业是打造国家竞争力的重要阵地,通过对其内部结构进行解析从而准确衡量其创新效率是实现高效创新活动的前提。根据已有文献和实地调研,将高技术产业的创新生产分为技术研发和商业转化两个子阶段。实践中,企业必然会将通过商业转化获得的部分利润反馈至两个子阶段的生产经营活动中去,以此保证持续创新和前进的动力。但是,现有文献忽略了这个关键环节,因此本文提出基于共享回馈的两阶段DEA模型,更具有现实性和一般性,不仅拓展了数据包络分析方法,也促进了创新绩效管理和管理科学方法之间交叉研究的发展。

实证结果表明,我国的高技术产业创新效率整体良好,但省际之间差异较大,大多数省份的创新效率有待进一步提升。此外,各省创新系统内部发展也不均衡。任何一个子阶段效率低下都将导致整体效率无效,因此努力协调两个子阶段的合作发展,从而提升高技术产业整体系统绩效是当务之急。逐步消除省际、地区差异根本上还是要依靠中央政府从全局出发,统筹领导,协调各区域的发展,加强围绕产业链的系统部署和产业技术创新战略的联盟建设,打造创

新高地对周围的辐射带动作用。对于创新效率低,排名靠后的省份而言,可以通过进一步加强科技合作,结合本地区高技术产业的特点,摸索一批优化创新资源配置的有效组织管理模式,不断提升自主创新能力。

在资源约束趋紧,企业生产要素成本上升的形式下,绝大多数企业面临着究竟先注重技术研发还是更关注商业转化这样“两难”的境地。本文分别测度了优先第1阶段或者优先第2阶段时两个子阶段的效率值,企业可以根据当前所处的环境做出更好的决策。可能短期内,由于企业战略调整,需要通过更多的商业转化为收入。但从长期来看,如果企业更重视商业转化而忽视技术研发,很难有持续创新的动力。因此需要注重技术研发,特别是基础前沿和高技术研究,但基础研究前期投入巨大,短期内很难看到回报,政府的支持会起到关键作用。

本文对高技术产业创新效率的研究做了一些有意义的探索,未来可从以下几个方面展开进一步的研究工作:1)加入高技术产业的企业性质和产业类型等维度进一步展开研究;2)本研究通过分析高技术产业的经营特点,在静态背景下建立了一部分的利润转化为投入反哺至两个子阶段的共享反馈模型,未来可在进一步剖析高技术产业生产过程的基础上,推广至动态视角下的复杂网络结构DEA模型;3)绩效评估是做管理决策的前提和基础,未来可以基于高技术产业整体和两个子阶段的效率,从政府和企业的角度去研究创新资源的分配问题。

参考文献(References)

- [1] 陈凯华, 官建成, 寇明婷. 中国高技术产业“高产出、低效益”的症结与对策研究——基于技术创新效率角度的探索[J]. 管理评论, 2012, 24(4): 55-68.
(Chen K H, Guan J C, Kou M T. The cruxes and countermeasures of China's high-tech industries "high outcomes, low benefits": An empirical investigation based on the productive efficiency analysis of technological innovation activities[J]. Management Review, 2012, 24(4): 55-68.)
- [2] 冯志军, 陈伟. 中国高技术产业研发创新效率研究——基于资源约束型两阶段DEA模型的新视角[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(5): 1202-1212.
(Feng Z J, Chen W. R&D innovation efficiency of Chinese high-tech industries — Based on two-stage network DEA model with constrained resources[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2014, 34(5): 1202-1212.)

- [3] 白俊红, 蒋伏心. 协同创新、空间关联与区域创新绩效[J]. 经济研究, 2015, 7: 174-187.
(Bai J H, Jiang F X. Synergy innovation, spatial correlation and regional innovation performance[J]. Economic Research Journal, 2015, 7: 174-187.)
- [4] Hollanders H, Celikel-Esser F. Measuring innovation efficiency: INNO-Metrics thematic paper[C]. Brussels: European Commission, DG Enterprise, 2007: 1-27.
- [5] 肖仁桥, 陈忠卫, 钱丽. 异质性技术视角下中国高技术制造业创新效率研究[J]. 管理科学, 2018, 31(1): 48-68.
(Xiao R Q, Chen Z W, Qian L. China's high-tech manufacturing industries' innovation efficiency: Technology heterogeneity perspective[J]. Journal of Management Science, 2018, 31(1): 48-68.)
- [6] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6): 429-444.
- [7] Färe R, Grosskopf S. Intertemporal production frontiers: With Dynamic DEA[M]. Dordrecht: Springer, 1996: 1-8.
- [8] Färe R, Grosskopf S. Network DEA[J]. Socio-economic Planning Sciences, 2000, 34(1): 35-49.
- [9] Kao C. Network data envelopment analysis: A review[J]. European Journal of Operational Research, 2014, 239(1): 1-16.
- [10] 郑龙, 周忠宝, 杜永浩, 等. 基于DEA模型的区域成人教育资源配置效率研究[J]. 控制与决策, 2020, 35(3): 721-727.
(Zheng L, Zhou Z B, Du Y H, et al. Research on allocation efficiency of regional adult education resources using DEA model[J]. Control and Decision, 2020, 35(3): 721-727.)
- [11] 龚本刚, 张孝琪, 郭丹丹. 基于证据理论-DEA交叉效率的混合型多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2016, 31(5): 943-948.
(Gong B G, Zhang X Q, Guo D D. Method for hybrid multiple attribute decision-making based on Dempster-Shafer theory and cross efficiency of DEA[J]. Control and Decision, 2016, 31(5): 943-948.)
- [12] Tseng F M, Chiu Y J, Chen J S. Measuring business performance in the high-tech manufacturing industry: A case study of Taiwan's large-sized TFT-LCD panel companies[J]. Omega, 2009, 37(3): 686-697.
- [13] Guan J, Chen K. Measuring the innovation production process: A cross-region empirical study of China's high-tech innovations[J]. Technovation, 2010, 30(5): 348-358.
- [14] Liang L, Li Z Q, Cook W D, et al. Data envelopment analysis efficiency in two-stage networks with feedback[J]. IIE Transactions, 2011, 43(5): 309-322.
- [15] Chen Y, Du J, Sherman H D, et al. DEA model with shared resources and efficiency decomposition[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207(1): 339-349.
- [16] Cook W D, Hababou M. Sales performance measurement in bank branches[J]. Omega, 2001, 29(4): 299-307.
- [17] Banker R D, Charnes A, Cooper W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1984, 30(9): 1078-1092.
- [18] Chen Y, Cook W D, Li N, et al. Additive efficiency decomposition in two-stage DEA[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 196(3): 1170-1176.
- [19] Lee J, Kim C, Choi G. Exploring data envelopment analysis for measuring collaborated innovation efficiency of small and medium-sized enterprises in Korea[J]. European Journal of Operational Research, 2018, DOI: org/10.1016/j.ejor.2018.08.044.

作者简介

朱钰(1981—), 女, 讲师, 博士生, 从事创新管理、决策分析的研究, E-mail: zhuyu_auts@sina.com;

杨锋(1977—), 男, 教授, 博士生导师, 从事决策方法与应用、供应链与运作管理等研究, E-mail: fengyang@ustc.edu.cn;

江利景(1990—), 男, 博士生, 从事绩效评估、决策分析的研究, E-mail: 740302598@qq.com;

刘培(1992—), 男, 硕士生, 从事绩效评估, 决策分析的研究, E-mail: 969715833@qq.com.

(责任编辑: 齐 霖)