

# 基于数据包络分析的高新技术企业R&D 绩效综合评价研究

刘 井 建, 陈 伟

(哈尔滨工程大学 经济管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 针对评价方法在投入、产出两个角度的缺乏以及评价全面性、融合性的不足, 运用数据包络分析的理论和方法, 构建了两阶段评价模型, 并建立了企业R&D绩效评价指标体系, 对哈尔滨15家高新技术企业进行实证研究, 其评价结果为提高企业R&D绩效水平提供了科学依据。

关键词: R&D绩效评价; 数据包络评价; 数据包络分析(DEA); 两阶段法

中图分类号: F276.44

文献标识码: A

文章编号: 1001- 7348(2008) 07- 0148- 04

## 0 引言

在经济全球化和市场经济日益完善的环境下, 研究与开发(R&D)是企业核心竞争力的源泉与可持续发展的保证。一方面, 企业需要加大R&D的投入力度; 但另一方面, 由于R&D活动具有高投入性、风险性和不确定性等特征, 尤其是高新技术企业, 因此, 评价企业R&D绩效显得尤为重要。

近年来, 我国学者对企业R&D绩效评价进行了广泛的研究, 但是在评价方法研究上仍然存在某些不足。如梁莱歆、刘建秋在《高新技术企业R&D绩效评价方法探索》中给出了适合高新技术企业投入产出指标体系的评价方法<sup>[1]</sup>; 莫燕的《区域R&D绩效评价》运用DEA的理论与方法评价R&D投入绩效<sup>[2]</sup>, 仅评价R&D绩效的一个方面或得出一个综合效率值, 缺乏全面性; 张运生等的《基于主成分分析的R&D绩效评价系统》虽然建立了详细的R&D绩效评价指标体系<sup>[3]</sup>, 但对投入产出之间的联系缺乏深入研究, 仅从单一的角度进行评价; 金虹博、吕本富在《R&D绩效评价和平衡记分卡》一文中, 利用平衡记分卡(BSC)建立了详细的评价指标体系<sup>[4]</sup>, 但由于BSC本身的缺陷, 不能说明各个指标的重要程度以及内在联系程度的大小, 主观性较强<sup>[5]</sup>; 梁莱歆在《谈高新技术企业R&D绩效评价中应重视的几个问题》中提出了许多宝贵的意见, 但仍然没能解决上述提到的一些问题<sup>[6]</sup>。

本研究发现, 大量的方法被应用于企业R&D绩效评价, 但仅从投入或产出的单一角度进行评价, 或者对R&D绩效的某一个方面进行评价, 不能将二者很好地结合起来。针对目前企业R&D绩效评价中存在的这些不足, 本文提出一种新的基于数据包络分析(Data Envelopment analysis, 简称DEA)的两阶段评价模型。在第一阶段运用基本的DEA模型对企业R&D绩效的技术价值、经济价值和管理风险3个维度分别进行评价, 包括技术效率、纯技术效率和规模效率3个方面; 在第二阶段, 将第一阶段3个维度评价的技术效率值作为产出, 同时引入虚拟投入变量1, 用于评价综合效率值。将综合效率值作为因变量, 运用多元回归方法分析影响综合效率值的主要因素, 对管理和提高企业R&D绩效水平提供科学依据。

## 1 研究方法

### 1.1 基于DEA的两阶段方法的第一阶段模型设计

为了克服评价的片面性, 分别运用基于产出的CCR模型和BCC模型, 对企业R&D绩效从技术价值、经济价值和管理风险3个维度进行评价。运用CCR模型评价技术效率时, BCC模型允许规模收益(VRS)可用于评价纯技术效率, 两者的比率用于评价规模效率<sup>[7]</sup>。CCR模型假设规模收益不变(CRS), 将规模效率和纯技术效率合并为一个整体效率——决策单元(DMU)的技术效率。引入基于产出的CCR模型为:

收稿日期: 2007- 03- 16

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目(G2004- 25)

作者简介: 刘井建(1981~)男, 哈尔滨工程大学经济管理学院博士研究生, 研究方向为项目优选、R&D绩效评价与管理; 陈伟(1957~), 男, 哈尔滨人, 哈尔滨工程大学经济管理学院教授、博士生导师, 研究方向为管理科学与工程。

$$\begin{cases} \min = Z^{-1} \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n x_j + s^- = x_0 \\ \sum_{j=1}^n x_j + s^+ = zy_0 \\ x_j, s^-, s^+ \geq 0, j=1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $z$  表示技术效率值,  $x_j$  和  $y_j$  分别表示第  $j$  个决策单元 (DMU) 的投入向量和产出向量,  $x_0$  和  $y_0$  分别表示被评价 DMU 的投入向量和产出向量,  $s^-$  和  $s^+$  为非阿基米德无穷小的正数。

为了将技术效率分离成两个部分, BCC模型放松了对规模收益的约束, 允许规模收益可变 (VRS), 仅仅评价 DMU 的纯技术效率, 其前沿面为不通过原点、分段的线性凸包, 只需在式 (1) 中增加约束条件:  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 。

假设式 (1) 的最优解为  $z^0, s_0^-, s_0^+$ , 当  $z^0 = 1$ , 并且  $s_0^- = 0, s_0^+ = 0$ , 则有决策单元  $j_0$  为 DEA 有效; 当  $z^0 < 1$ , 则有决策单元  $j_0$  为 DEA 非有效; 若  $s_0^- > 0, s_0^+ > 0$ , 则有决策单元  $j_0$  的第  $i$  项的投入指标在 DEA 的相对有效面的投影 (即改进的目标值) 为  $(x_{ij_0} - s_0^-)$ , 第  $r$  项产出指标值在相对有效面上的投影为  $(zy_{rj_0} + s_0^+)$ 。

### 1.2 基于DEA的两阶段方法的第二阶段模型设计

运用 DEA 方法从 3 个不同的维度评价企业 R&D 绩效, 能够提供切实的改进目标 (投影值), 但并不能说明系统 (R&D 活动) 的整体效率。企业集中改进 R&D 绩效的一个或两个方面以提高其竞争力, 但有时其改进的一方面, 是以降低另一方面的效率为代价的。例如, 企业强调提高 R&D 活动的技术价值, 经济价值可能就会受到影响, 并有可能增大管理风险; 如果企业追求 R&D 活动的经济价值, 以提高利润、降低风险为目标, 可能以降低技术价值为代价。因此, 第二阶段模型设计是将第一阶段 DEA 模型的计算的技术效率值作为第二阶段 DEA 模型的产出指标, 并引入一个虚拟投入变量 1, 主要目的是引导企业应该集中改进某个方面以提高 R&D 绩效的整体效率。

(1) 第二阶段指标设置。经过以上分析, 第二阶段评价指标构建方法是将第一阶段计算的技术效率值作为第二阶段 DEA 模型的产出指标, 并引入一个虚拟投入变量 1。

(2) 第二阶段模型选择。假设松弛量显著, 则基于松弛量的 (SBM) 模型被用来评价效率值更具有代表性, 效率值仅由松弛量来确定, 其模型为:

$$\begin{cases} \min = \left(1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{x_{i0} - s_i^-}{x_{i0}}\right) \left(1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{y_{r0} + s_r^+}{y_{r0}}\right)^{-1} \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n x_j + s^- = x_0 \\ \sum_{j=1}^n y_j - s^+ = y_0 \\ x_j, s^-, s^+ \geq 0, j=1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $m$  和  $s$  分别表示投入指标和产出指标的数目, 其

余指标含义同式 (1)。

### 1.3 对两阶段方法的改进与讨论

#### 1.3.1 模型改进

式 (2) 是基于输入的衡量混合 (Mixed) 效率的最优化模型, 为了从投入产出的综合角度衡量, Cooper 建立新的目标函数为:

$$\min = \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{x_{i0} - s_i^-}{x_{i0}} \right) \left( \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{y_{r0} + s_r^+}{y_{r0}} \right)^{-1} \quad (3)$$

如果  $\theta = 1$ , 则 DMU 为 DEA 有效, 这与所有松弛量等于 0 ( $s^- = 0, s^+ = 0$ ) 等价; 如果  $\theta < 1$ , 则 DMU 为 DEA 非有效<sup>[7]</sup>。

因为投入为虚拟变量 1, 即  $x_{i0} = 1$ , 并有  $s_i^- = 0$ , 则有:

$$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{x_{i0} - s_i^-}{x_{i0}} = 1 \quad (4)$$

还可以将目标函数式 (3) 进一步化简。

#### 1.3.2 针对研究方法的讨论

假设 R&D 绩效评价的 3 个维度地位不相等, 为了突出某一方面, 或者强调某两个方面之间具有一定的联系, 可以对 3 个评价维度赋予不同的权重值。由于权重值允许变化, BCC 模型不适合用在第二阶段, 因为 BCC 模型本质上是对 DMU 具有较低效率值的指标赋予的权重值为 0, 而突出具有较高效率值指标的作用, 结果导致效率值较低的两个指标的作用被忽略。运算检验后发现, BCC 模型计算出的综合效率值 (0.91) 比运用 SBM 模型计算的效率值 (0.82) 高, 但是大多数 DMU 存在显著的松弛量。

由于目标函数式 (3) 的前一因子等于  $\theta$  (见式 (4)), SBM 模型的最优值本质上是第一阶段效率值的倒数的平均值。比较运用式 (2) 计算的结果和第一阶段效率值的简单平均值发现, 式 (2) 的计算结果对相对劣的方面“惩罚”力度加大, 例如第一阶段输出结果值分别为 0.9、0.9 和 0.9, 利用式 (2) 得到结果为 1.11, 即效率值为 90%, 其简单平均值也为 0.9; 当输出结果分别为 1.0、1.0 和 0.7 时, 运用式 (2) 得到结果为 1.14, 即效率值为 88%, 而简单平均值仍为 0.9。由于式 (2) 的计算结果形成一个相对更大的包络面, 更利于 DMU 之间的比较与分析。

## 2 实证研究

### 2.1 企业R&D绩效评价指标体系

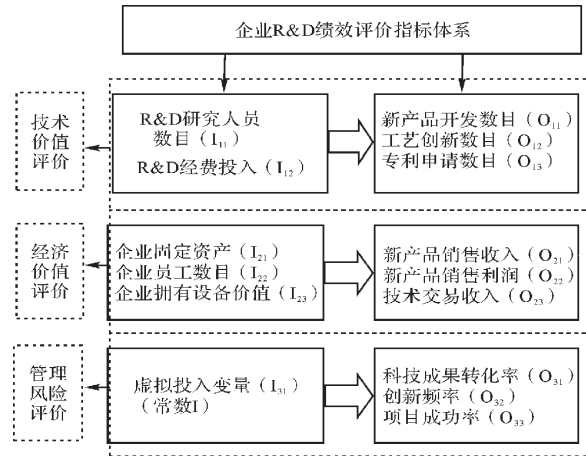
企业 R&D 活动与其它部门的联系紧密, 结构复杂, 涉及内容较多, 只有从多个维度标准来设计指标体系, 才能准确、全面地反映企业 R&D 绩效。针对 DEA 方法强调投入产出之间的因果关系的特征<sup>[8,9]</sup>, 笔者根据大量的文献以及企业调研数据, 将企业 R&D 绩效评价标准分为技术价值、经济价值和管理风险 3 个维度, 从定量角度建立评价指标体系 (见图 1)。

(1) 技术价值指从技术角度评价 R&D 活动对企业技术进步的贡献。投入指标包括 R&D 研究人员数目 ( $I_{11}$ ) 和 R&D 经费投入 ( $I_{12}$ ); 产出指标包括新产品开发数目 ( $O_{11}$ )、工艺

创新数目( $O_{12}$ )和专利申请数目( $O_{13}$ )。

(2)经济价值从经济角度评价R&D活动对企业收入和利润的贡献,投入指标包括企业固定资产( $I_{21}$ )、企业员工数目( $I_{22}$ )和企业拥有设备价值( $I_{23}$ );产出指标包括新产品销售收入( $O_{21}$ )、新产品销售利润( $O_{22}$ )和技术交易收入( $O_{23}$ )。

(3)管理风险指标主要是为了反映R&D活动的风险程度。笔者认为,基于仅有产出的DEA模型适用于此<sup>[10]</sup>,而本文为了保持与技术价值评价和经济价值评价模型上的一致,故引入虚拟变量1作为投入、产出指标,包括科技成果转化收入( $O_{31}$ )、创新频率( $O_{32}$ )和项目成功率( $O_{33}$ )。



2.2 指标数据来源

企业R&D绩效指标数据来自两条途径:调查表和问卷。调查表主要来自我校04级和05级MBA学员,研究对象主要是研发管理人员、技术人员和财务人员,他们接受过良好的教育,具有较高的知识水平和沟通能力,能够具有较好地了解、调查、分析现象的能力;根据问卷设计的问题,与企业管理人员、财务人员等联系,既可以保证数据的可靠性,又可以根据问卷结果判断调查获得数据的真实性。根据企业具有一定研发实力、一定规模等遴选标准,最后筛选出哈尔滨15家高新技术企业作为样本企业进行实证研究。

2.3 实证结果讨论

根据基于产出的CCR模型和BCC模型,以及各个企业R&D活动的调查数据,利用DEA-Solver软件计算的结果见表1。

2.3.1 技术效率、纯技术效率和规模效率分析

在表1中,第一阶段所对应的列分别表示技术价值、经济价值和管理风险评价所对应的技术效率(TE)、纯技术效率(PTE)和规模效率(SE)。为了简要分析,以技术价值评价为例进行重点讨论。

(1)在技术价值评价中,利用CCR模型计算的平均技术效率为0.86,方差为0.43,11家企业非有效。效率最低的DMU为企业8,技术效率值为0.56,表示其达到有效前沿面的水平时产出需要提高到原有产出水平的178%。

表1 企业 R&D 绩效评价结果

DMU	效率值		第一阶段						第二阶段		
	技术价值			经济价值			管理风险		综合效率值		
	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SBM	BCC	Aver
企业 1	0.89	0.97	0.92	0.64	0.87	0.74	1	1	0.81	1	0.84
企业 2	1	1	1	1	1	1	0.95	1	0.98	1	0.98
企业 3	0.92	1	0.92	0.86	0.95	0.91	1	1	0.92	1	0.93
企业 4	0.86	0.95	0.91	0.95	1	0.95	1	1	0.93	1	0.94
企业 5	1	1	1	0.87	0.97	0.90	1	1	0.95	1	0.96
企业 6	0.64	0.85	0.75	0.54	0.75	0.72	0.64	0.89	0.60	0.64	0.61
企业 7	0.96	1	0.96	0.64	0.75	0.85	0.87	0.95	0.80	0.96	0.82
企业 8	0.56	0.64	0.88	0.78	0.89	0.88	0.35	0.46	0.51	0.78	0.56
企业 9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
企业 10	1	1	1	0.96	1	0.96	1	1	0.99	1	0.99
企业 11	0.58	0.78	0.74	0.76	0.92	0.83	0.46	0.56	0.58	0.76	0.60
企业 12	0.97	1	0.97	0.83	0.96	0.86	0.9	1	0.90	0.97	0.90
企业 13	0.97	1	0.97	0.56	0.73	0.77	0.89	0.98	0.76	0.97	0.81
企业 14	0.58	0.75	0.77	0.64	0.86	0.74	0.64	0.84	0.61	0.64	0.62
企业 15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
平均值	0.86	0.93	0.92	0.80	0.91	0.87	0.85	0.91	0.82	0.91	0.84
方差	0.43	0.19	0.12	0.38	0.14	0.14	0.66	0.41	0.41	0.26	0.37

根据BCC模型计算的平均纯技术效率为0.93,方差为0.19,6家企业为非有效。技术效率最低的DMU为企业8,纯技术效率值为0.64。

规模效率为技术效率与纯技术效率的比值。在技术价值评价模型中,平均规模效率为0.80,说明规模的非有效可以解释大约技术效率非有效的20%。对于那些不在生产前沿面上的DMU,规模收益是由非有效DMU向有效前沿面的投影确定的。规模非有效包括规模收益递增(IRS)和规模收益递减(DRS),结合规模收益(RTS)指标,可以进行深入探讨。

(2)在经济价值评价中,企业6的技术效率是最低的,然而纯技术效率却不是最低。经过分析,可以通过图2来解释。

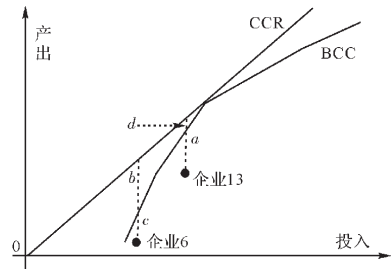


图2 企业 6 和企业 13 的比较分析

在利用CCR模型时,企业6非有效部分为b+c,企业13的非有效部分为a+d。然而,当使用BCC模型计算的前沿面作为参考前沿面时,企业6的非有效部分为c,而企业13的非有效部分为a,并且可以看出a>c,此时企业13的效率值更低,说明企业6的技术效率非有效的很大一部分是由规模非有效引起的,其规模效率值为0.72,低于企业13的规模效率值0.77。



(3) 根据以上思路, 可以对经济价值和管理风险进行依次分析。根据DEA方法的性质, 对管理风险进行规模效率分析没有实际意义, 故没有计算其规模效率值。

### 2.3.2 企业R&D绩效综合评价及影响因素分析

(1) 在表1中, 第二阶段对应的列分别为运用SBM模型、BCC模型和简单平均值(Aver)计算的综合效率值。运用SBM模型计算的平均综合效率值为0.81, 方差为0.41, 能够区分12家企业为DEA非有效; 运用基于产出的BCC模型计算的平均综合效率值为0.91, 方差为0.26, 仅能区分出7家企业为非有效; 而运用简单平均值计算表明, 平均效率值为0.84, 方差为0.37, 区分能力同SBM一样, 但方差要比SBM模型计算的效率值的方差小, 当DMU的数目较多时, SBM的区分能力将会得到进一步体现。

(2) 为了分析3个维度标准对综合效率值的影响程度, 将运用SBM模型计算的综合效率值作为因变量, 第一阶段计算的3个维度标准的技术效率值作为自变量, 运用SPSS13.0软件进行多元回归分析, 具体结果见表2。

表2 企业R&D绩效多元回归分析

模 型	非标准化回归系数		标准化系数	T	Sg
	B	标准误差	Beta		
常数项	-0.060	0.022	-	-2.699	0.210
技术价值	0.263	0.053	0.269	4.934	0.000
经济价值	0.388	0.026	0.372	14.918	0.000
管理风险	0.407	0.042	0.514	9.638	0.000

由多元回归系数表可以看出, 影响企业R&D绩效效率的主要因素是管理风险, 根据设置的指标体系, 可以具体运用第一阶段模型计算的效率值, 对企业在科技成果转化率( $O_{31}$ )、创新频率( $O_{32}$ )和项目成功率( $O_{33}$ )3项指标上的差异进一步分析原因。而技术价值在3项指标中影响力最小, 结合问卷和调查表的其它信息, 发现企业R&D活动更注重R&D成果在经济上的实现, 科技成果转化以及项目成功率。

(3) 对技术价值、经济价值和管理风险评价的技术效率值进行偏相关分析, 结果见表3。由表3可以看出, 技术价值和管理风险的相关系数为0.889, 且置信水平(99%)显著, 说明技术价值越高, 管理风险效率值越高(即风险更低)。而其它两种可能并没有存在显著的相关性, 说明企业将技术转化为经济优势没有体现出来。更深层地, 从调查中发现, 许多R&D项目并没有实现预期的商业目标, 或者与商业发展战略出现偏离, 虽然企业比较重视R&D项目的优选, 但主要靠高层管理者的主观判断, 没有科学的优选程序, 科技成果转化率低, 制约了企业R&D活动对企业

利润的贡献程度。

表3 企业R&D绩效评价标准的偏相关分析

相关系数	技术价值	经济价值	管理风险
技术价值	1.000		
经济价值	0.199	1.000	
管理风险	0.889 <sup>**</sup>	0.024	1.000

\*\* Correlation is significant at 0.01 level.

## 3 结语

本文建立的新的DEA的两阶段评价模型, 将企业R&D绩效评价3个维度标准(技术价值、经济价值和管理风险)相结合而形成综合效率值。纵观本研究, 重点没有放在DEA模型计算的具体结果分析上, 而是在总体上提供一个理论分析框架, 对管理和提高企业R&D绩效提供了更多的指导信息。

参考文献:

- [1] 梁莱歆, 刘建秋. 高新技术企业R&D绩效评价方法探索[J]. 科学学与科学技术管理, 2004(11): 29-32.
- [2] 模燕. 区域R&D绩效评价[J]. 科研管理, 2004(1): 114-117.
- [3] 张运生, 曾德明, 秦吉波, 等. 基于主成分分析的R&D绩效评价系统[J]. 研究与发展管理, 2004(4): 1-6.
- [4] 金虹博, 吕本富. R&D绩效评及平衡记分卡[J]. 应用研究, 2004(5): 35-38.
- [5] Mark WR., Enhancing the balanced scorecard with Scale-DEA [M]. Washington State University, 2003.
- [6] 梁莱歆. 谈高新技术企业R&D绩效评价中应重视的几个问题[J]. 科技管理研究, 2005(3): 70-72.
- [7] Coopel WW, Seiford, L.M. and Tone, K. (eds.), Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software [M]. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2000.
- [8] Athanassopoulos, A.D., "An Optimization Framework Of The Triad: Service Capabilities, Customer Satisfaction, And Performance", ET, Harker, and S.A. Zenios (eds.), Performance of financial Institutions [J]. Cambridge University Press, Cambridge, England, 2000(3): 12-355.
- [9] Rouatt, Stephen James, Two stage evaluation of bank branch efficiency using data envelopment analysis [J]. Masters Abstracts International, 2003, 41(6): 1810.
- [10] 何静. 只有输出(入)的数据包络分析及其应用[J]. 系统工程学报. 1995, 10(2): 48-55.

(责任编辑: 赵贤瑶)