

文章编号: 1000-7695 (2008) 03-0086-04

## DEA 方法在 R&amp;D 绩效评估中的应用研究

钟 华<sup>1,2</sup>, 汪凌勇<sup>2</sup>

(1. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 2. 中国科学院国家科学图书馆, 北京 100080)

**摘要:** 本文对 DEA 方法在 R&D 绩效评估中的应用作了一个综合性的论述。在分析我国 R&D 绩效评估状况和 DEA 方法优缺点及应用范围的基础上, 对国内外运用 DEA 模型进行 R&D 绩效评估的研究状况进行了总结, 分析了研究的特点和适用性, 并指出今后相关研究中应注意的问题, 促进 DEA 方法在科研绩效评估中的进一步应用。

**关键词:** DEA; R&D 绩效; 绩效评估

**中图分类号:** G311

**文献标识码:** A

科技已经成为国家赢得竞争优势的重要因素, R&D 活动与国家实力、贸易、国际政治地位等变动密切相关, 因此, 各国对科研活动的战略导向日益重视, 政府对 R&D 资源投入的重视程度也日益增加。在这种情况下, R&D 绩效评估成为一个重要的协调和管理手段, 各种 R&D 绩效评估的各种方法也不断出现并发展起来。20 世纪 90 年代初, 运筹学中的 DEA 方法开始引入科技管理领域, 作为一种有效的 R&D 绩效评估的手段发展起来。

## 1 DEA 模型与 R&D 绩效评估

数据包络分析 (DEA, data envelopment analysis) 是运筹学家 A. Charnes 和 W. W. Cooper 与 E. Rhodes (CCR) 于 1978 年提出的。它融合了数学、运筹学、数理经济学和管理科学等多个学科, 是一种多指标投入和多指标产出的有效性综合评价方法, 主要用来评价同类型单位之间的相对有效性。

R&D 绩效可以视为科技活动投入和产出的比较, 它体现了国家或机构科技创新能力的强弱和科技水平高低。在利用 DEA 模型的 R&D 绩效评估中, 可以把每个国家 R&D 的知识创造活动视为一个生产过程。Pakes 及 Griliches (1984) 和 Griliches (1990) 对 R&D 知识生产框架的方式对此过程进行论述, 一些可测度的资源, 如 R&D 支出或者是研究人员数量, 可作为 R&D 活动的投入项。这些活动都是直接面向生产有价值的知识的 (\*K, economically valuable knowledge), 而这些正是可测量的产出项。不可测度的知识可以以专利数、论文数以及其他定量指标都可作为值得考虑的 R&D 产出, 通过相对比较, 最终得到研究者所感兴趣的收益率、生产率 and 公司、产业及国家的增长对比。

## 2 DEA 方法与应用

### 2.1 DEA 方法简介

DEA 方法是一种构造生产前沿面函数的非参数的计量经济学方法。利用 DEA 方法可以有效的评估多投入多产出 DMU 的效率。它通过研究生产决策单元的投入与产出指标数据, 从相对有效性角度出发, 对各单元与部门进行相对效率评价, 它不必事先设定决策单元 (DMU, decision making unit) 的具体输入输出函数, 在测定若干决策单元的相对效率时, 注重对每个决策单元进行优化。在相对有效性评价上具有广泛应用<sup>[1]</sup>。

DEA 方法的实质是根据一组关于输入输出的观察值, 采用数学规划模型, 来估计有效生产的前沿面, 再将各 DMU 与此前沿面做比较, 进而衡量效率。凡是处在前沿面上的 DMU, DEA 认定其投入产出组合最有效率, 将其效率指标定为 1; 不在前沿面上的 DMU 则被认定为无效率, 同时以效率前沿面之有效点为基准, 给予一个相对的效率指标 (大于 0, 小于 1)。此外, DEA 还可以判断各个 DMU 投入规模的适合程度, 给出各 DMU 调整其投入规模的方向和程度。

相对于参数方法, DEA 无需预设生产函数的具体形式, 即无需估计生产函数的参数, 仅仅依靠分析实际观测数据, 采用局部逼近的办法构造前沿生产函数模型来对生产单元进行相对有效性的评价。DEA 中最常见的 C<sup>2</sup>R 模型如下所示:

$$\begin{aligned} \min \theta - \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^l S_i^+ + \sum_{i=1}^m S_i^- \right], \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + S_i^+ - \theta x_{i0} = 0, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - S_r^- = y_{r0}, \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n, \\ S_i^- \geq 0, S_i^+ \geq 0. \end{aligned}$$

其中  $n$  为决策单元 DMU, 评价指标体系由  $m$  个投入和  $l$  个产出指标组成。他们分别表示: “消耗的资源” 和 “工作的成效”。设  $x_{ij}$  为第  $j$  个决策单元对第  $i$  种类型投入的投入量,  $y_{rj}$  为第  $j$  个决策单元对第  $r$  种类型产出的产出量,  $v_i$  为对第  $i$  种类型投入的一种度量 (或称权),  $u_r$  为对第  $r$  种类型产出的一种度量,  $S_i^+$  与  $S_i^-$  分别为松弛变量,  $\varepsilon$  为一非阿基米德无穷小量, 在计算时可取 ( $\varepsilon = 10^{-6}$ )。  $\lambda_j, S_i^-, S_i^+, \theta$  为待估计参量。

### 2.2 DEA 方法的应用

应用 DEA 方法可以用 R&D 绩效表现最好的国家或机构做为 benchmark, 然后用这些绩效最好的公共部门的凸组合构造一个线性的生产前沿面, 经过建模、求解, 得出结论:

如图 1 所示, 国家 A、B、C、D 的 R&D 绩效构成了生产函数的有效前沿面。此时, 对于非有效的国家 E 来说, 有两个途径可以使得它变为有效率。一种方式是这个国家在保持现有的 R&D 产出水平下, 减少所需要的资源消耗, 此时, E 以国家 A 和 B 作为参照, 通过学习国家 A 和 B 的优点, 进一步改善自己的绩效; 另一种方式是, 国家 E 在保持现有 R&D 投入状况不变的情况下, 采取措施增加 R&D 产出, 如

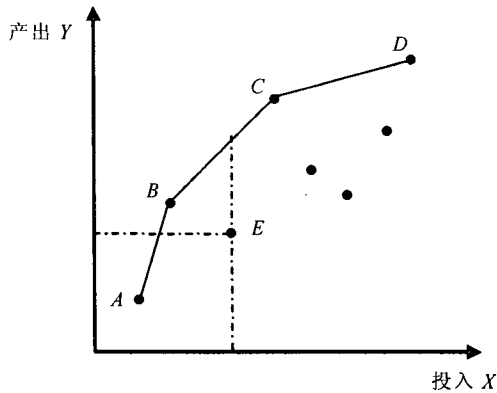


图 1 国家 R&amp;D 绩效构成

专利申请数和学位论文产出量的增加。这时，国家 E 以国家 B、C 为参照改进绩效。

### 3 DEA 方法在 R&D 绩效评估中的应用研究

#### 3.1 概述

R&D 绩效的界定，我国较早关注这方面问题的学者吴俊卿认为：绩效是实践活动的实际结果对期望值所达到的程度<sup>[2]</sup>。闫宏认为，R&D 绩效评估是在 R&D 活动结束后，对照预先设定的目标，对 R&D 活动的完成情况、实施过程、实施效果及其影响所进行的系统、客观、公正的分析，并为今后的投资或决策提供意见或建议<sup>[3]</sup>。总之，R&D 绩效可以视为科技活动投入和产出的比较

DEA 方法的基本目的在于“评价”，特别是进行多个同种类型的样本间的“相对优劣性”的评价。R&D 活动具有多种投入和产出的复杂性，传统的投入产出模型中所应用的综合评价方法，如层次分析法、模糊评价方法等虽然各有自己的特点，但有的方法对确定权重问题难以正确解决，有的方法则计算较冗繁，它们在评估中不能很好描述 R&D 活动的特点。DEA 方法是一种新的非参数统计分析方法，不需要明确决策单元的生产函数，不需要事先确定各指标间的可比性，不需要事先确定各指标间的权重，并可以提供信息来找出低效率的环节，并且结构简单，使用方便，是运用于评价领域的一种常用方法，但在科技绩效评估，特别是对国家层面的绩效评估方面的应用还不多，因此进一步探索这种定量分析方法在此领域应用的科学性和合理性是非常必要的。

非参数分析方法，如 DEA，与其他参数分析方法相比，在测度 R&D 活动效率方面有如下优点：

首先，由于缺乏对市场价值的了解，当一个 DMU 所利用的各种投入及产出的相对权重无法确定时，DEA 方法对此情况的测度具有优势。这种情况是当一国将自己资源投入科学和技术的 R&D 活动中，但是权重或价格并非与每个产出相关。DEA 通过允许每一个 DMU 来选择投入和产出向量的权重来克服这一问题，这将最大化产出权重对投入权重的比率，受限于这一约束条件，第  $k$  个 DMU 所选择的权重向量就不允许任何 DMU 的产出权重比率达到投入权重。因此，每一个 DMU 通过自身设定的标准来判断。一个 DMU 的有效性，是由其他 DMUs 所决定的。因此，一个 DMU 不可能简单判定为无效率，因为它的产出可能被同行评议团体（a peer review group）视为无效。

其次，普遍认为存在一个巨大的问题，即没有可利用的“技术”知识来显示研究投入和研究产出间精确的相互关系。DEA 可以在无需对每一个 R&D/知识生产技术做特殊说明的

情况下进行效率评估。

第三，R&D 活动是一种多投入和多产出的活动，这使得很难用标准的参数方法来测度。DEA 本身适用于处理同时发生的多投入和多产出问题。

#### 3.2 国内研究现状

DEA 方法使用数学规划模型比较决策单元之间的相对效率，从而对决策单元的绩效做出评价。自该方法提出以来，关于 DEA 的研究在国内外的的发展很快，DEA 也广泛应用于各行业有效性的评价上，尤其是在企业的应用方面效果比较好，在国家经济信息系统建设项目、区域经济发展状况、项目拟定方案筛选、钢铁企业经济效益、煤炭企业有效性评价、测算科技进步速度、技术创新评价、民用机场评价、银行业效率因素等方面都有很好的应用和发展，在促进经济建设和改善评价效果方面，DEA 发挥了很大的作用，同时，在具体的实践过程中，DEA 方法本身也得到了很好的改进和发展。

国内用 DEA 做 R&D 绩效评估的研究不多，徐春杰、李强在《科技投入产出绩效评价的内生增长模型研究》在归纳和总结传统科技评价方法的基础上，建立了基于内生增长理论的模型框架和指标体系，将科技过程作为整个社会生产过程的一个子系统，对科技过程各阶段的投入和产出进行区分和界定，形成反映投入和产出全过程的过程<sup>[4]</sup>。吴和成、郑垂勇在《科技投入产出相对有效性的实证分析》中，运用改进的 DEA 方法，对我国 1999 到 2000 年各地区的科技投入产出的相对有效性进行了分析，并根据结论给出相关建议<sup>[5]</sup>。谢友才在《基于典型相关分析的科技投入产出效率》中，建立指标体系并确定权重，将典型相关分析与数据包络分析概念相结合对浙江省各地区的 R&D 绩效进行测度<sup>[6]</sup>。时鹏将等在《R&D 投入产出效率的 DEA 分析》中，引用投入-产出型 DEA 对全国 27 个省和直辖市的 R&D 投入产出技术效率进行实证分析，并将三种 DEA 模型的评价结果进行比较<sup>[7]</sup>。官建成等在《基于 DEA 的国家创新能力分析》中，作者构建了国家创新能力框架并选取指标进行 DEA 分析，对所选取国家的创新活动的相对有效性进行评价。罗亚非等在《基于 C<sup>2</sup>R 模型的高技术行业科技活动绩效评价》中利用 DEA 方法的 C<sup>2</sup>R 模型来评价我国高技术行业科技活动的绩效，在选取决策单元、投入指标和产出指标的基础上，计算化学药品制造业、通信设备制造业、电子器件制造业等高技术行业科技活动绩效的相对有效性，并分析哪些投入指标或产出指标应该改进，进而采取相应的措施提高该行业的科技活动绩效<sup>[8]</sup>。许治在《基于 DEA 方法的我国科技投入相对效率评价》中，利用 DEA 方法对我国 1985—2003 年科技投入相对效率进行测度，表明我国科技投入的产出对经济增长贡献率偏低，两者间不存在显著的相关关系，同时，各部门科技资源的使用对整个社会科技投入相对效率影响也不同<sup>[9]</sup>。台湾的吴强在其文章中，以总量类指标和结构类指标的综合评价结果作为模型分析的维度，并用适当的聚类方法建立四方格模型（Four-grids Model），进而用 DEA 方法对中国各地区的科技投入产出效益进行评价分析<sup>[10]</sup>。

#### 3.3 国外研究现状

国外，Godin B. 在《The measure of science and technology and the construction of a statistical territory》对国外关于科技绩效的评价方法进行了总结，现在应用较多的评价方法有专家评分法、层次分析法、运筹学评价法、经济评价法以及模糊数学方法等等。国际方面已有大量文献研究 R&D 投入对提高企业利润和生产率的作用，很多研究人员在文章中分别对各

个国家或各行业中 R&D 投入对产业生产率提高的作用进行了讨论。

国外, DEA 方法已成功地运用于银行、医院、城市等方面效率的评价。Farrell (1957) 首次对技术效率进行了系统测度, 两种用于绩效评估的主要方法在此之后发展起来, 一种是 SFA 方法, 它是利用计量经济学的方法来评估生产/成本前沿 (the production/cost frontier), 另外一种方法是 DEA 方法, 是用线性规划 (LP) 的方法来测量技术的效率前沿 (the efficiency frontier)<sup>[11]</sup>。国外研究 R&D 资源有效利用的文章相对较少, 直到近期才有相关文章运用定量分析方法讨论机构和企业的 R&D 利用效率, Zhang A (2003) 用随机前沿分析法 (Stochastic Frontier Analysis, SFA) 对不同产权类型的企业 R&D 绩效进行分析<sup>[12]</sup>。Korhonen (2001)<sup>[13]</sup> 和 Cherchye (2005)<sup>[14]</sup> 用 DEA 方法分别对芬兰和荷兰大学的 R&D 效率进行了评估, 用学术论文和引文来计算大学的研究生产率。运用 DEA 方法对国家层次上 R&D 活动进行测度评估研究的文章不多。Wang, E. C. 和 Huang, W. (2006) 在其文章选取了以 OECD 为主的 30 个国家, 利用各国 R&D 投入和产出指标的数据, 使用三阶段的方式对近年 OECD 各国的 R&D 绩效进行测度, 并进行了 Tobit 回归分析来控制外部环境因素的影响<sup>[15]</sup>。

## 4 基于 DEA 方法测度 R&D 绩效应注意的问题

### 4.1 模型选择

选择 DEA 的模型, 一是要看 DMU 的实际背景, 二是要应该考虑评价目的。首先要选择基于输入的 DEA 模型或是基于输出的 DEA 模型, 主要考虑到输入或输出指标的可控性和可处理性, 如果输入指标不易有较大变动或需要基本维持在一定水平上, 这时选用基于输出的 DEA 模型比较合适; 反之, 若输出指标不宜有较大变动, 此时就应该选用基于输入的 DEA 模型较为合适。

就有效性而言,  $C^2R$  模型是同时针对规模有效性和技术有效性而言的“总体”有效性, 而  $C^2GS^2$  则是模型只能评价技术有效性。此外,  $C^2R$  模型的生产可能集为闭锥形, 并且是建立在规模收益不变的假设下, 而  $C^2GS^2$  模型则反应了规模收益可变的情况, 对应的生产可能集为凸性。

### 4.2 指标特性

对 R&D 绩效做测度, 是需要多个输入和输出才能较全面的进行描述的, 缺少某个重要指标也可能使评价和测度的目的不能完整的得以实现。例如在指标体系中新增一个输出指标, 原来的非有效 DMU 就可能变成有效 DMU; 或者是在原指标体系中将一个输入指标去掉, 原来有效的 DMU 就可能变成非有效的了, 这就可以说明, 变动的指标对本项 DMU 来说是科技创新过程中的有竞争力的一项, 也可以看到, 它对本研究的目的会有着较大的影响, 缺少了这些指标, 很可能就不能够全面的对科技创新进行有效测度。

在建立指标体系的过程中, 输入与输出向量的选择要能全面反映评价目的, 还要考虑到输入/输出向量间的联系, 在科技创新的生产过程中, DMU 各输入和输出之间往往不是孤立的, 当某些指标被确定为输入输出后, 会对其他指标的认定产生影响。如果某指标与几个已经确定作为输入 (出) 量的指标间呈现出较强的相关关系, 那么可以被认为给指标的信息已经在很大程度上被已经确定的几个指标所包含了, 那么就需要考虑是否需要把他作为输入 (出) 指标了。

### 4.3 数据采集

运用 DEA 方法需要大量数据来估算前沿面, 对 R&D 指

标数据进行处理时, 所选取数据的全面性、准确性和新旧程度都将对 DEA 模型计算结果产生影响, 关系到研究结果的准确性和客观性。

运用相关经济或财务数据时, 由于通货膨胀或紧缩会造成核算结果的虚增或虚减, 尤其是在进行纵向比较时, 时间序列如果太长, 影响就会更加明显, 是否应对指标数据进行一定的调整, 剔除纯粹价格因素的影响。

需要考虑科技资源投入的滞后性和累积性的问题。滞后性指从研究开发到获得新的技术知识, 将其用于生产, 要经过一定时间。当年的科技资源投入并不会马上带来经济效益。累积性指 R&D 投入会在今后一段时间内对产出发挥作用。以美国经济学家兹维·格里里奇 (Zvi Griliches) 为代表的研究者认为, 企业所拥有的技术知识的大部分, 都是以往研究开发所生产的知识和经验的积累, 即技术知识存量, 又称 R&D 存量。能够表明企业、产业或国家技术开发能力和潜力的, 不是各年的流量, 而是企业、产业或国家所拥有的知识和经验的存量, 这种存量构成了其后技术开发的基础, 可以用 R&D 经费存量值来代替当年的 R&D 经费值。

### 4.4 确保 DEA 有效性

DEA 假设至少有一个 DMU 是技术有效的, 因此效率前沿得以确定。DMUs 效率值低于整体内特定前沿, 其余的 DMUs 定义为有效因为样本中没有其他单元比他们更有效了。显然在已经确定的边界中不可能达到更大的效率。

某个 DMU 在某些情况下因为其与其他单元的不同可以达到更高的效率值。这是因为, 每一个 DMU 按照其意愿选择标准或 (参照物), 当 DMUs 的数量很少时, 可能导致一些 DMUs 因为他们特殊而认为技术有效, 但是对 DMUs 的数量上过多的要求会超出研究者的能力范围而难以完成, 或者也有可能使所选择 DMU 的同类性受到影响, 因此, 通常认为参考集元素的个数不少于输入、输出指标总数的两倍为最佳。

## 5 结语

国家科技创新是对知识创造、生产、扩散和应用的过程。采用 DEA (数据包络分析) 方法来对 R&D 活动进行绩效评估, 应遵循由基础到理论再到应用这一整体思路, 在定性研究的基础上, 提出并分析理论模型, 然后探讨实证研究方法, 选取决策单元、投入和产出指标, 建立数学模型, 然后利用 DEA 方法量化分析 R&D 活动绩效的相对有效性, 由实际数据的特点出发, 利用数据进行实证研究并得出相关结论。分析运筹学的 DEA 方法在 R&D 绩效评估中的适用性, 以此来了解中国科技创新绩效与其他国家相比较的差异, 对我国科技投入的产出绩效水平及其变化趋势有较为客观的认识, 进而提出相关建议来改善科技发展政策的实施效果, 可以为进一步改善我国科技活动绩效水平提供依据。

### 参考文献:

- [1] 魏权龄. 数据包络分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 20-55.
- [2] 吴俊卿. 绩效评价的理论和方法 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1992: 85-154.
- [3] 闫宏, 朱启超, 匡兴华. 我国 R&D 绩效评估研究现状述评 [J]. 科技管理研究, 2004 (1): 109-112.
- [4] 徐春杰, 李强. 科技投入产出绩效评价的内生增长模型研究 [J]. 中国软科学, 2006 (8): 65-72.

(下转第 93 页)

- [J]. 统计与决策, 2006 (23).
- [2] 计国君. 我国产业科技创新与国际竞争力研究 [J]. 厦门大学学报 (哲学社会科学版), 2007 (2).
- [3] 周川宁. 发挥科技引领作用 支撑经济社会发展 [J]. 宜宾科技, 2007 (1).
- [4] 黄俊. 财政农业科技投入与产出关系的实证研究 [J]. 商业时代, 2007 (3).
- [5] 陈新军. 灰色系统理论在渔业科学中的应用 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [6] 孙健. 澳大利亚科技创新的管理及启示 [J]. 中国科技论坛, 2007 (2).
- [7] 王荣. 科技进步对我国经济增长贡献的实证研究 [J]. 价格月刊, 2007 (2).
- [8] 孙健全. 我国科技人才队伍发展的环境状况、存在问题及对策 [J]. 商场现代化, 2007 (5).

作者简介: 王剑 (1977 -), 男, 湖南郴州人, 研究生。

(本文责编: 陈 夏)

(上接第 88 页)

- [5] 吴和成, 郑垂勇. 科技投入产出相对有效性的实证分析 [J]. 科学管理研究, 2003 (6): 93 - 96.
- [6] 谢友才. 基于典则相关分析的科技投入产出效率 [J]. 统计与决策, 2005 (2): 10 - 11.
- [7] 时鹏将, 许晓雯, 蔡虹. R&D 投入产出效率的 DEA 分析 [J]. 科学学与科学技术管理, 2004 (1): 28 - 30.
- [8] 罗亚非, 焦玉灿, 戎莉. 基于 C2R 模型的高技术行业科技活动绩效评价 [J]. 科技管理研究, 2006 (3): 151 - 154.
- [9] 许治, 师萍. 基于 DEA 方法的我国科技投入相对效率评价 [J]. 科学学研究, 2005 (8): 481 - 484.
- [10] 吴强. 基于四方格模型的区域科技竞争力 DEA 评价 [C]. 第四届两岸产业发展与经营管理学术研讨会, 2004.
- [11] FARRELL M J. The measurement of productive efficiency [J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1957, Series A CXX (3): 253 - 290.
- [12] ZHANG A, ZHANG Y, ZHAO R. A study on the R&D efficiency, and productivity of Chinese firms. Journal of Comparative Economics 2003, 31: 444 - 464.
- [13] KORHONEN P, TAINIO R, WALLENINUS J. Value efficiency analysis of academic research [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130: 121 - 132.
- [14] CHERCHYE L, VANDEN ABEELE P. Onresearch efficiency: amicroanalysis of Dutch university research in economic and business management [J]. Research Policy, 2005, 34: 495 - 516.
- [15] WANG E C, HUANG W. Relative efficiency of R&D activities : Across - country study accounting for environmental factors in the DEA approach [J]. Research Policy, 2006.

作者简介: 钟华 (1983 -), 女, 广西柳州人, 硕士研究生; 汪凌勇 (1967 -), 男, 安徽太湖人, 助理研究员, 硕士生导师。

(本文责编: 廖政权)