

# 生产前沿面的参数方法 与非参数方法及应用

● 王金祥 王卓 著



西南交通大学出版社  
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

Shengchanqianyanmian de Canshufangfa yu  
Feicanshufangfa ji Yingyong

# 生产前沿面的参数方法与 非参数方法及应用

王金祥 王 卓 著

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

-----  
**图书在版编目 ( C I P ) 数据**

生产前沿面的参数方法与非参数方法及应用 / 王金祥, 王卓著. —成都: 西南交通大学出版社, 2009.4  
ISBN 978-7-5643-0110-1

I. 生… II. ①王… ②王… III. 生产管理—参数—数学模型 IV. F273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 162852 号  
-----

**生产前沿面的参数方法与非参数方法及应用**

**王金祥 王卓 著**

责任编辑	张宝华
封面设计	林海峰
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮 编	610031
网 址	<a href="http://press.swjtu.edu.cn">http://press.swjtu.edu.cn</a>
印 刷	石家庄信力印刷有限责任公司
成 品 尺 寸	140 mm × 203 mm
印 张	7.687 5
字 数	199 千字
版 次	2009 年 4 月第 1 版
印 次	2009 年 4 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-0110-1
定 价	20.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话: (028) 87600562

## 作者简介

**王金祥**，男，1971年5月生，博士，副教授，硕士生导师。中国运筹学会会员，天津运筹学会会员，现为天津大学管理学院骨干教师，天津市131创新型人才。2003年3月毕业于天津大学管理学院，获得管理科学与工程专业的博士学位，于2005年4月天津大学博士后流动站出站。主要研究方向：资源优化技术、统计技术及应用。在国内外学术期刊发表论文30余篇，主持或参加完成国家自然科学基金、教育部青年教师基金及其他省部级以上项目8项。

**王卓**，1966年7月生，博士，北京联合大学商务学院国际商务研究所所长。2003年6月毕业于天津大学管理学院，获得管理学博士学位，于2005年6月天津大学博士后流动站出站。曾担任某企业总经理、董事长、地方对外经济贸易合作局局长等职务，具有12年企业管理经验。主要研究方向：管理决策、资本运营。在国内外学术期刊发表论文30余篇，主持完成、省部级课题10余项，担任多家企业管理顾问，主持多项企业战略规划、改制、并购与重组课题。

# 前 言

随着社会的发展，很多管理中的评价问题都需要定量分析来支撑，尤其在现代企业的管理过程中，出现了越来越多的评价问题，需要科学、严谨、系统的方法加以分析和解决。本书结合最新研究成果，详细地介绍了管理中具有代表性的生产前沿面理论中的参数方法模型、非参数方法模型及其应用等方面的内容，在数学技能与管理问题之间架起了一座桥梁。

在经济学的生产理论中经常采用生产函数描述生产技术关系，即特定生产技术条件下各种生产要素投入的配合可能生产的最大产出，并在此基础上采用生产函数进行经济理论的分析。这种理论生产函数所描述的生产可能性边界称之为生产前沿面 (production frontier)。生产前沿面理论有参数方法和非参数方法：参数方法中随机前沿面为主要方法，这种方法首先给出函数形式的假设，然后用样本数据确定模型参数；生产前沿面非参数方法即数据包络分析，这种方法不需构造复杂的函数形式，而是通过线性规划模型来完成资源配置效率测度问题。这两种生产前沿面方法在管理科学中得到了大量应用，而且它本身也在不断发展。

本书是作者在“多目标决策与综合评估技术”方面的多年研究成果，以及北京市教委人才强教项目“生产前沿面理论创新与应用”项目的最新研究成果，在大量调研与实验的基础上，运用示例着力说明方法的基本思想，力求做到理论与实践相结合，且

尽量避免烦琐的数学论证。本书的读者面较广，包括应用数学、运筹学、管理科学与工程等专业的大学生及研究生。通过对本书内容的学习，不仅可以了解和掌握一些管理问题的定量分析的思想和方法，而且能有助于提高读者的思维质量，从而提高自身的决策能力。

由于编者水平有限，错缪之处在所难免，衷心欢迎同行及广大读者批评指正。

**王金祥 王卓**

**2007年10月15日**

## 目 录

第 1 章	概述	1
1.1	引言	1
1.2	生产前沿面	3
1.3	生产前沿面理论的产生及发展	5
第 2 章	生产技术与技术效率	25
2.1	生产技术描述	26
2.2	技术效率	40
第 3 章	随机前沿面分析	50
3.1	随机前沿面的产生及其应用	50
3.2	管理误差项 $u_i$ 的其他分布假设	60
3.3	管理误差项 $u_i$ 的 $\Gamma$ 分布假设 及 Monte-Carlo 模拟研究	64
3.4	随机成本前沿面	71
第 4 章	用其他参数构造前沿面的方法 及不同函数形式的优劣判断	76
4.1	决定生产前沿面	76
4.2	概率生产前沿面	82
4.3	基于遗传算法的前沿面构造	85
4.4	不同函数形式构造生产前沿面的优劣判断	91
第 5 章	非参数模型及效率测度分析	97
5.1	生产技术过程的非参数线性模型	97
5.2	基于投入的效率测度	103

5.3	基于投入的效率分解	114
5.4	电力工业资源配置效率的非参数分析	122
<b>第 6 章</b>	<b>非参数动态效率测度的方法</b>	<b>135</b>
6.1	Malmquist 指数	135
6.2	运用非参数动态效率测度方法的注意事项	141
6.3	银行卡业务实证分析	142
<b>第 7 章</b>	<b>拥挤测度模型的基本理论</b>	<b>161</b>
7.1	拥挤测度模型	161
7.2	零售业电子商务数据处理及实证分析	168
<b>第 8 章</b>	<b>超效率评价模型及参数方法 与非参数方法的结合运用</b>	<b>184</b>
8.1	超效率 DEA 评价模型	184
8.2	参数方法与非参数方法的结合运用及其比较分析	193
8.3	非参数方法用于数据过滤	198
8.4	各种生产前沿面构造方法的比较分析	205
<b>第 9 章</b>	<b>非参数效率测度软件 EMS 1.3 简介</b>	<b>208</b>
9.1	用户界面	208
9.2	准备投入产出数据	209
9.3	设定权重约束条件	211
9.4	启用 EMS 和数据调入	212
9.5	运行 DEA 模型	213
9.6	结果	219
<b>附 表</b>		<b>221</b>
<b>参考文献</b>		<b>227</b>



# 第 1 章

---

## 概 述

### 1.1 引 言

效率是西方经济学中重要的概念，同样，效率问题在企业业绩评价中也十分重要。我们国家正处于国企转型的关键时刻，为了增加企业的生产能力，需要解决国内外行业比较的效率度量问题。

1997年9月，党的十五大提出“力争到本世纪末大多数国有大中型骨干企业初步建立现代企业制度，经营状况明显改善”。在十五届一中全会上，江泽民同志进一步确认了三年改革与脱困的目标。自此，我国国有企业的发展进入了一个新阶段，整个工业企业的发展呈现出良好的局面。1998—2003年，我国的GDP由78 345.2亿元增长到117 251.9亿元，按可比价格计算的各年年均增幅均超过7%。同期，我国工业企业也取得了较快的发展，工业总产值从1998年的67 737.14亿元增长到2003年的142 271.22亿元，工业增加值从1998年的19 421.93亿元增加到2003年的

41 990.23 亿元，增长速度均快于 GDP 的增长速度。十六大以来，中国经济持续平稳快速增长，总量在世界的位次由第六位跃居第四位，人均国民总收入步入了中等收入国家行列。经济实现了连续四年 10% 以上的增长速度。2003—2006 年年均增长 10.4%，不仅比同期世界年均增长 4.9% 高出 5.5 个百分点，而且比改革开放以来年均增长 9.7% 高出 0.7 个百分点。经济增速不仅快，年度之间波幅也比较小，人均国民总收入翻了近一番，步入了中等收入国家行列。

从上述的统计数字可以看出，改革开放以来，我国国民经济确实得到了长足发展，工业企业规模发展较快，但随着我国经济持续快速增长和人口不断增加，能源、水、土地、矿产等资源不足的矛盾越来越尖锐，经济建设中存在和积累的深层次问题日益增多，集中表现为经济结构不合理，区域发展不平衡，经营方式粗放，经济增长的“高投入、高污染、高破坏”特征明显。在 2007 年全国人大和政协会议上，中央领导明确提出以科学发展观统领经济社会发展全局，强调必须扭转高消耗、高污染、低产出的经济增长方式，注重经济增长的质量和效益。由此，提高经济运行效率，使国民经济迅速转移到走科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、科学发展观能得到有效落实的效率型道路上来，是我国目前经济发展的首要任务。

从全国来看，我国工业企业的发展基本健康，工业企业的效率缓慢提高，投入结构趋于合理，企业的获利能力得到提升。但是，效率提高的速度很慢，这说明我国尚未找到提高工业企业效率的有力措施。从各经济区的情况来看，东部地区的工业企业一直保持着较高的效率水平，东北和西部地区工业企业的效率有所改善，中部地区的情况有所恶化。中部地区工业企业的效率水平不佳，在投入方面表现为投入结构不合理，人员冗余，资本不足，在产出方面表现为获利能力差。西部地区工业企业的效率水平很低，主要原因是企业获利能力差。所以，下一阶段我国工业企业

的发展，在东部地区和东北地区主要是加强技术创新，通过技术进步提高效率。在中部地区和西部地区则要重点做好产业结构的调整，转向利润高的产业，增强企业的获利能力。同时，在中部地区，还需要同时解决好冗余劳动力的分流和资本的引入工作，积极改变投入结构不合理的状况。

为了更好度量企业效率不佳的原因和改进措施，需要更细致深入的定量分析。生产前沿面理论可以为这些度量工作提供理论依据，可从微观上给出生产效率的准确测量，从而为提高企业管理水平，避免浪费作出重要贡献。

## 1.2 生产前沿面

在经济学的生产理论中经常采用生产函数描述生产技术关系，即特定生产技术条件下各种投入生产要素的配合可能生产的最大产出。这就是说，对于给定的生产要素和产出品价格，要求选择要素投入的最优组合（投入成本最小化组合）和产出品的最优组合（产出收益最大化组合），要求选择适度的经济规模，要求生产调控过程中对投入品和产出品具有强处置能力，要求充分发挥生产技术和经营管理水平，以最大可能的劳动生产率组织生产。这种定义可以理解为一种理论上的假定，并在此基础上采用生产函数进行经济理论的分析。这种理论假定有其合理性，以赢利为目的的厂商追求的就是利润最大化，即追求这种最优生产状态。这种理论生产函数所描述的生产可能性边界称之为生产前沿面(production frontier)。

但是，实际的生产过程并不全是在最优状态下进行，即使对经营绩效优异的企业这种最优生产状态也是一种短期的动态的概念。在生产函数的测算中，直接使用实际要素投入和产出数据进行生产函数的常规拟和，所得到的生产函数反映的只是一定投入

要素组合与平均产出量之间的关系，而这种平均意义上的生产函数有悖于生产函数的理论前提。针对这种情况，20世纪70年代以后开始了描述有效生产前沿面的生产函数的研究。为了与平均生产函数相区别，把这种描述生产前沿面的生产函数称之为前沿生产函数或边界生产函数（frontier production function）。前沿生产函数可以理解为：对于给定的一组投入量，可求出一个生产单位的最大可能产出函数。然而，采用标准统计技术，如投入产出的回归模型，所拟合的生产函数具有正的、负的残差。像这样拟合出来的生产函数与上述生产函数的定义是有矛盾的。矛盾的产生在于，对于给定的投入量，回归技术估计的是“平均”意义上的产出而非最大产出，当要解释某种经济问题（如企业的效率测算）时，产出的最大值比平均值就更令人感兴趣了。以投入量的函数估计最大产出，这种函数即为前沿生产函数。这里“前沿”一词强调体现最大值的概念。

生产函数的经验研究中，如果需要通过函数估计一组生产要素投入在一般情况下可以获得的产出水平，应用平均生产函数是合适的。但是，如果需要研究一组要素投入所对应的最优生产状态，则需要通过前沿生产函数的估算才有可能实现。对于平均生产函数，实际产出量可以在其上方，也可以在其下方；而对于前沿生产函数，所有实际产出量都只能在其下方或在生产前沿面上，而不可能在其上方。

在经济理论中，生产行为的有效性问题是十分重要的。通过对生产决策单元（decision making unit, DMU）进行分析，了解生产行为无效的根源及程度，进而提出相应的改进对策和目标。生产前沿面是生产有效性分析与测量的重要工具，是根据已知的一组投入产出观测值，构造出投入产出一切可能组合的外部边界，使得所有投入产出观测点都落在这个边界的“下方”，并且与其尽可能接近。因此，生产前沿面是对一个经济系统最优生产行为的描述。

企业效率测算与生产前沿面的估计之间有着密切的联系。人们需要有一个标准，并以此为对照来测算效率。例如，一家企业投入了惯用的投入量，而仅仅得到原来产出量的 90%，那么人们自然要了解 100%(最大)的产出量究竟是多少？针对这样的问题，1957 年，经济学家 Michael Farrell 给出了效率测算标准和测算模型，Farrell 原始模型和随后的一些学者的研究工作使生产前沿面理论得到了很大发展。

### 1.3 生产前沿面理论的产生及发展

真正意义上的生产前沿面研究始于 1957 年经济学家 Michael Farrell 的基于生产效率测度思想的开创性研究工作。Farrell 模型的建模思想是采用一系列合适的线性规划模型求出所观测投入空间的凸边界。

下面考虑多投入单产出情形。假定有  $K$  个决策单元，每个决策单元有  $N$  个投入变量，第  $k$  个决策单元的多投入单产出数据集合为  $(x_k, y_k)$ ，其中  $x_k = (x_{k1}, \dots, x_{kN})$ ，则 Farrell 前沿面由下列线性规划模型的优化结果确定：

$$\begin{aligned} \min_{\beta} g_k &= \sum_{n=1}^N x_{kn} \beta_n \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} \sum_{n=1}^N x_{kn} \beta_n \geq y_k, & (k=1, \dots, K) \\ \beta_n \geq 0, & (n=1, \dots, N) \end{cases} \end{aligned} \quad (1.1)$$

式中，目标函数使用的是第  $k$  个参考单元的投入。对于任意一个参考单元  $k$ ，可以得到上述线性规划模型的最优值  $\beta^*(k)$ 。如果  $\sum_{n=1}^N x_{kn} \beta_n^*(k) = y_k$ ，则第  $k$  个生产单元处于有效生产状态。也就是

说，第  $k$  个生产决策单元的前沿生产函数为

$$y_k^* = \sum_{n=1}^N x_{kn} \beta_n^*(k) \quad (1.2)$$

通过 Farrell 模型的求解，就可以得到全部生产前沿面和生产前沿面上的参数  $\{\beta^*(k), k=1, \dots, K\}$ 。由于每个生产单元的前沿生产函数都是齐次线性函数，描述的是多维空间平面，因此 Farrell 有效面可以看做是多个有效面相交构成的凸多面体(convex facets)。

Farrell 模型的直观分析图如图 1.1 所示。如果一个企业面对相同的因素成本和相同的技术生产函数，并且是配置有效的，那么相对平均成本数据将足够测量技术效率。下面考虑图 1.1 中的简单的双因素模型。所有的企业都生产一个单元的产出，面对相同的相对因素成本  $K'/L' = K''/L''$  和单位等产量曲线  $F$ ，如果生产过程是线性一致的， $X_1$  和  $X_2$  都是配置有效的，那么  $X_2$  生产相同水平的产出比  $X_1$  的所有投入因素都要多。因此，企业  $X_2$  是技术无效的。在假设其他情况相同的情况下，由于  $K'L'$  和  $K''L''$  是单位产出的等成本线，度量技术无效是很容易的事情。

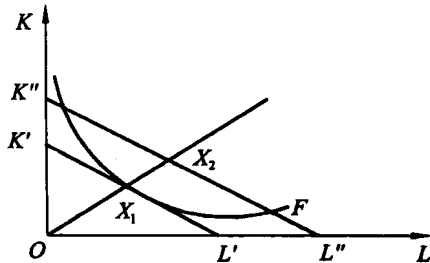


图 1.1 Farrell 模型的直观分析

如果  $X_1$  的效率是 1，则其成本可作为比较的基础。若  $OX_1/OX_1 = 1$ ，且  $OX_1/OX_2 < 1$ ，如果  $X_2$  采用与  $X_1$  一样的技术，那

么  $X_2$  的成本也应该降到  $K'L'$ 。这同  $OX_1/OX_2$  ( $K'L'$ ) 是相等的, 因此, 比率  $OX_1/OX_2$  就是技术效率度量。在本例中, 它是一个相对成本的度量指标。

Farrell 在 1957 年将这个简单的双因素成本比较扩展到  $n$  个因素, 则企业中不同的因素成本的配置都技术无效。若将线性一致生产函数的假设保留, 则图 1.2 展示了 Farrell 如何相对于一个有效前沿面度量一个企业的技术效率, 即等产量曲线  $AB$  是所有企业观测点的包络, 没有一个企业生产单位产出会低于等产量曲线  $AB$ 。企业  $Q$  和  $Q'$  都是 100% 技术有效的, 而企业  $P$  是技术无效的, 无效程度可用比率  $OQ/OP < 1$  度量, 因此, 所有企业都有一个在 0 和 1 之间的技术效率。

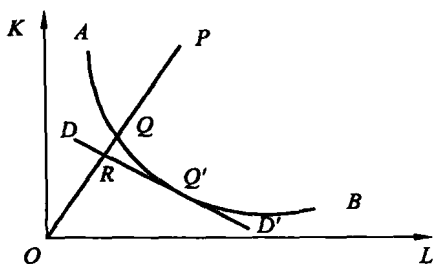


图 1.2 Farrell 模型中企业的效率度量

配置效率也可以从图 1.2 中的信息得到度量。  $DD'$  是针对所有企业的相对价格线, 企业  $Q'$  是既技术有效又价格有效, 由于  $DD'$  是等产量曲线  $AB$  在  $Q'$  点的切线, 故企业  $Q$  是技术有效但不是价格有效, 其价格无效程度可用  $OR/OQ < 1$  来度量。既然  $DD'$  是等成本线, 故以成本  $OR$  表示生产单位产出是可能的。企业  $Q$  的花费用  $OQ$  表示, 因此其无效度量为  $OR/OQ$ 。Farrell 将配置和技术决策分开, 通过度量求出相对于有效前沿面的技术效率, 而这在简单成本比较中得不到。

只有采用极端观测点的情况下, 前沿面估计才会屈从于数据

的误差。因此，可用统计方法估计平均单元成本线来测量相对于平均成本线的技术效率。

尽管在 Farrell 之后，有许多重要的关于效率测算的文献问世并存在一些争议，但至今 Farrell 的测算方法仍被普遍接受和使用。

Farrell 原始模型是生产前沿面研究的雏形。目前，生产前沿面研究成果非常丰富，从研究方法方面来看形成了两个大的分支：参数方法(parametric estimation method)和非参数方法(non-parametric estimation method)。生产前沿面研究的参数方法是沿袭了传统的生产函数估计思想：首先根据需要确定或构造一种具体的生产函数形式，然后通过适当的方法估计位于生产前沿面上的函数参数，从而完成描述生产前沿面的前沿生产函数的构造。生产前沿面研究的非参数方法摒弃了参数方法研究中函数形式需要事先假定、参数估计的有效性和合理性需要检验等多方面问题，不去寻求生产前沿面的具体函数形式，而是通过所观测的大量实际生产点数据在基于一定的生产有效性标准找出位于生产前沿包络面上的相对有效点。生产前沿面研究的参数方法和非参数方法在生产领域的实证分析中都得到了广泛的应用。

### 1.3.1 生产前沿面理论的参数方法

对参数方法而言，求生产前沿面即求前沿生产函数。20 世纪 70 年代初，在西方经济学界就开始了参数前沿生产函数的研究工作。在 Farrell 生产前沿面原始模型基础上，参数型前沿生产函数的发展形成了两个分支：一类是在不考虑随机因素影响的前提下采用线性规划方法求解生产前沿面的确定性参数生产函数；另一类是把生产前沿面看做随机的生产边界而采用统计学方法求解参数的随机性参数前沿生产函数。这里我们首先研究确定性参数前沿生产函数。

在 Farrell 于 1957 年所做开创性工作的随后岁月里，Aigner



和 Chu, Seit, Forsund 和 Jansen 分别于 1968 年、1971 年、1977 年对 Farrell 生产前沿面原始模型进行了验证与改进。Farrell 原始模型的不足之处在于, 参数不是在统计意义上由估计得到的, 而主要是由规划求解得到的。另外, 尽管明确要求对误差项进行假设, 但本方法没有这种特性, 其结果是没有误差项的特点, 即任何的假设检验都是不可能的。还有, 由计算得到的决定生产前沿面对数据外包非常敏感。其实, 也正是这第二个特点导致了 Timmer 于 1971 年提出了概率生产前沿面 (probabilistic frontier) 模型。这种前沿面模型是由规划技术计算得到的, 经计算, 不支持前沿面数据点被抛弃, 新的决定前沿面又通过计算得到。这种过程一直持续下去, 直到由计算得到的前沿面稳定。概率前沿面通过抛开由例子形成的外包, 并尽量调整最终得到的前沿面的位置与以理论产出上界的概念相一致。然而, 既然概率前沿面是由原始例子经由计算得到的决定性前沿面, 那么它就对决定性前沿面的第一个反对意见非常敏感。也就是说, 它是由计算得到的, 假设检验仍然不可能。

基于以上模型的缺点, Aigner, Lovell 和 Schmidt, Meeusen 和 Van den Roeck 在 1977 年几乎同时提出了随机前沿面模型 (stochastic frontier analysis, SFA)。与确定性前沿生产函数相对应的随机前沿生产函数是从统计学的角度出发, 将生产样本点形成的前沿面看做是由确定性因素和随机因素共同作用的结果, 所以在测算中将随机误差剔除。采用不同的生产函数形式, 基于不同的统计学假定, 会得到不同的随机前沿生产函数。在随机前沿面模型中, 假设误差项分为两部分: 一部分随机项是由纯自然因素造成的, 如运气、天气的好坏等; 另一部分随机项是由管理不善造成的, 并将由这一原因造成的技术损失称之为技术效率损失。这一方法的困难之处在于, 随机误差项分布的假设与计算在应用方面有一定难度。

虽然随机前沿面是一个有用的构建, 但在其包含的信息中要有一个严格的限定。一个生产过程可有两种技术无效形式: 一种