



华夏英才基金学术文库

马占新 著

数据包络分析 模型与方法



科学出版社
www.sciencep.com



华夏英才基金学术文库

数据包络分析模型与方法

马占新 著

国家自然科学基金资助(70501012,70961005)

内蒙古大学 513 人才工程基金资助

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要介绍数据包络分析基础层面的工作, 主要包括作者的博士学位论文(1999)、博士后出站报告(2001)的核心内容, 并概括介绍了作者2001~2009年的主要工作. 第1章综述数据包络分析方法30年的主要研究进展. 第2, 3章主要介绍数据包络分析的一些基础知识, 其中也对个别定理进行了重新证明. 第4, 5章分别给出判断DEA有效性的算法及程序, 并研究了综合DEA模型及其软件系统的设计方法. 第6章针对 C^2R 模型、 BC^2 模型、FG模型、ST模型给出基于工程效率概念的DEA有效性含义. 第7章研究DEA方法的本质特征与数据变换性质. 第8章给出样本DEA方法. 第9, 10章研究一种评价多层次复杂系统的DEA方法及作用条件与作用效果的相关性分析方法. 第11, 12章探讨基于DEA方法的区域效率、效益、业绩和可持续发展评价方法及用于区域公路交通网络综合评价的方法. 第13, 14章给出基于DEA方法的风险评估方法及组合效率评价方法. 第15, 16章探讨DEA方法在实验室绩效评估及电场影响作物效果评估中的应用.

本书可供数学系、管理系、经济系的本科生、研究生和教师使用, 也适合经济、管理领域从事数据分析和评价的工作人员参考.

图书在版编目(CIP)数据

数据包络分析模型与方法/马占新著. —北京: 科学出版社, 2010
(华夏英才基金学术文库)

ISBN 978-7-03-027099-3

I. 数… II. 马… III. 包络-系统分析-数学模型 IV. N945.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第052963号

责任编辑: 王丽平 房 阳 / 责任校对: 陈玉凤

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年4月第 一 版 开本: B5(000×0000)

2010年4月第一次印刷 印张: 21 3/4

印数: 1—2 500 字数: 423 000

定价: 68.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

数据包络分析 (data envelopment analysis, DEA) 是美国著名运筹学家 Charnes 等提出的一种效率评价方法, 经过 30 多年的发展现已成为管理科学、系统工程和决策分析、评价技术等领域中一种常用而且重要的分析工具和研究手段. 某些运筹学或经济学的主要刊物, 如 *Annals of Operations Research* (1985), *European Journal of Operational Research* (1992), *Journal of Productivity Analysis* (1992), *Journal of Econometrics* (1990) 等都先后出版了 DEA 研究的特刊. 本书第 1 章系统地介绍了 DEA 方法研究与应用的国内外现状. 从 DEA 30 年的发展历史来看, DEA 方法在经济管理学科中的应用十分广泛, 其中, 比较主要的方向有技术经济与技术管理、资源优化配置、绩效考评、人力资源测评、技术创新与技术进步、财务管理、银行管理、物流与供应链管理、组合与博弈、风险评估、产业结构分析、可持续发展评价等. 有关统计数据表明: 自 1978 年以来, DEA 方法的研究保持了持续、快速增长的趋势. 特别是在 2000 年以后, DEA 方法的应用迅速增长, 应用的范围也在不断扩大, 已经成为经济管理学科中的热点研究领域.

本书主要取材于作者的博士学位论文“关于若干 DEA 模型与方法研究”(大连理工大学, 1999) 和博士后出站报告“综合评价与安全评估中若干模型与方法研究”(哈尔滨工程大学, 2001), 同时概括介绍了作者 2001~2009 年的主要工作, 其中, 第 15 章与马占英老师合作完成, 第 16 章与包斯琴高娃老师合作完成.

作者开始对 DEA 的研究是在 1996 年, 当时作者考入大连理工大学管理学院攻读博士学位, 在导师唐焕文教授的指导下开始研读 DEA 方面的文章, 并把对 DEA 的研究作为博士论文的选题方向.

尽管当时关于 DEA 的研究已经取得了众多进展, 不论 DEA 理论还是应用都获得了空前发展, 但 DEA 方法本身仍然存在着不同程度的局限性. 例如, DEA 方法仅仅是一种效率评价方法, DEA 方法给出的结果只是一种相对结果, DEA 有效前沿面的构造仍未走出随机化的困境等. 由于作者硕士期间的研究方向是格论和模糊数学, 从专业直觉感到偏序集理论和 DEA 方法之间可能存在着某种必然联系, 在导师唐焕文教授和赵萃魁教授的鼓励下, 作者开始探讨数据包络分析与偏好理论之间的关系, 到 2003 年为止, 用了 8 年时间初步建立了基于偏好理论的 DEA 方法理论新体系. 通过研究发现: ① 从偏序集的理论出发不仅可以刻画 DEA 有效的本质特征, 给出不同于 Charnes 和 Cooper 等的原始解释, 还可能为离散型 DEA 模型的建立找到出路. ② 该理论打通了 DEA 方法与其他众多传统评价理论之间的

联系. 例如, 原有的模糊综合评判方法只能评价结果的好坏, 而不能说明无效的原因, 该结果的提出为这一问题的解决找到了出路. ③ 由于传统 DEA 方法产生的基础是经济系统的公理体系, 所以并不一定适合非经济领域的问题. 该项研究为 DEA 方法在非经济领域中的应用找到了根据.

同时, 作者开展的另一项工作是样本 DEA 方法的研究. 如果将效率评价问题比较的对象分为“群体内部单元”和“群体外部单元”两类, 那么, 传统 DEA 方法能够评价的也只是第一类中的一部分问题, 即它只能给出相对于“优秀”单元的信息. 从 1998 年起, 作者开始在国有企业战略重组中探索能够同时评价上述两种情况的 DEA 方法, 到 2009 年为止, 用了大约 10 年的时间基本上建立了这种广义 DEA 方法的完整理论和方法体系.

作者在哈尔滨工程大学博士后流动站期间 (1999~2001), 在戴仰山教授和任慧龙教授的鼓励和帮助下, 开始风险评估方面的研究, 完成了博士后出站报告“综合评价与安全评估中若干模型与方法研究”, 初步探讨了 DEA 方法在风险评估领域中的应用问题.

2001 年博士后出站后, 作者积极投身到祖国西部建设中, 分配到内蒙古大学从事教学科研工作, 有幸成为第一位到内蒙古大学从事经济管理学研究工作的博士后出站人员. 2002~2009 年, 作者指导的博士研究生和硕士研究生先后有 22 人陆续加入 DEA 研究队伍中. 10 年间, 内蒙古大学 DEA 研究团队基本形成, DEA 的研究经历了从无到有的过程, 同时, 还有不少教师开始关注 DEA 方法研究, 陆续加入 DEA 研究队伍中, 进一步增强了内蒙古大学 DEA 研究团队的实力. 这段时间我们还对联合型、竞争型与重组型组合效率评价、DEA 软件系统开发、综合 DEA 模型、基于工程效率的 DEA 有效性含义、经济系统有效性评价、DEA 方法在生物物理领域中的应用等问题进行了研究. 在内蒙古大学工作的 9 年间, 整个 DEA 团队不仅给作者带来了学术研究与合作的快乐, 同时也培养了深厚的友谊. 特别是当大家热心于 DEA 的研究, 并不断取得新进展的时候, 作者的欣慰和快乐是无法言表的.

另外, 在指导研究生的过程中, 作者的学生来自许多不同的学科, 他们本科的专业分别是数学、物理、计算机、管理、土木工程、生物学、园艺等, 作者深深感到对 DEA 浅显易懂的介绍和一个方便灵活的软件系统对他们有多么重要. 同时, 考虑到 DEA 方法的应用特别广泛, 涉及的学科领域众多, 如何帮助众多非 DEA 专业人士更好地学习和使用 DEA 方法, 也是我们重点思考的问题. 鉴于此, 在内容安排上, 本书兼顾基础知识和理论方法研究, 对于基础知识部分尽量保持知识的简洁性、完整性和易读性, 几乎所有的定理证明都采用最简单、最直接的方式进行. 为了保证读者的顺利应用以及软件开发的延续性, 我们给出了全部程序源代码. 对初学者而言, 只学习前 3 章就可以入门了. 同时, 对后面的专题性内容, 也尽量保持

每个章节的独立性和完整性, 其中, 第 1 章综述了 DEA 方法 30 年的主要研究进展, 让读者首先对 DEA 方法有一个宏观总体的认识. 然后在第 2, 3 章中主要介绍 DEA 的一些基础知识, 包括 DEA 的基本模型及性质, 为了简化也对个别定理进行了重新证明. 为了便于应用, 第 4, 5 章分别给出了判断 DEA 有效性的算法及程序, 综合 DEA 模型及其软件系统设计方法. 第 6 章针对 C^2R 模型、 BC^2 模型、FG 模型、ST 模型给出了基于工程效率概念的有效性含义. 第 7 章从偏序集理论出发研究了 DEA 方法的本质特征与数据变换性质. 第 8 章给出了基于样本数据评价决策单元有效性的 DEA 方法. 第 9 章研究了一种评价多层次复杂系统的 DEA 方法. 第 10 章应用 DEA 方法给出了作用条件与作用效果的相关性分析方法. 第 11 章探讨了基于 DEA 方法的区域经济效率、效益、业绩和可持续发展评价的系列方法. 第 12 章给出了用于区域公路交通网络综合评价的方法. 第 13, 14 章给出了基于 DEA 方法的风险评估方法及组合效率评价方法. 第 15 章探讨了 DEA 方法在计算机实验室综合绩效评估中的应用. 第 16 章探讨了 DEA 方法在生物物理领域中的应用.

本书是对作者多年来在 DEA 领域研究工作的总结, 其中许多工作才刚刚开始, 我们准备以本书为起点, 在未来 10 年内陆续出版有关 DEA 及管理决策方面的系列专著.

作者的研究得到了许多前辈和朋友的大力支持, 美国著名管理运筹学家 Cooper 教授、中国人民大学魏权龄教授等给予作者许多指导和帮助, 作者的研究生阅读了大部分书稿, 在此表示深深的感谢! 另外, 还要特别感谢父母和家人几十年来默默的支持和无私的帮助.

本书的出版得到了华夏英才基金、国家自然科学基金 (70501012, 70961005)、内蒙古大学“513 人才工程基金”的资助, 在此表示深深的谢意!

作 者

2009 年 12 月于内蒙古大学

目 录

前言

第 1 章 数据包络分析方法的研究进展	1
1.1 DEA 方法的研究进展	3
1.2 DEA 方法的工作步骤	11
1.3 DEA 方法研究中值得关注的几个方向	12
参考文献	13
第 2 章 DEA 基本模型 —— C^2R 模型	20
2.1 基于工程效率概念的 DEA 模型及 DEA 有效性	21
2.2 DEA 有效性的判定方法	27
2.3 DEA 方法与生产函数理论	36
2.4 DEA 有效性与 Pareto 最优的关系	40
2.5 决策单元在 DEA 相对有效面上的“投影”	44
参考文献	49
第 3 章 评价相对有效性的其他几个重要 DEA 模型	50
3.1 评价技术有效性的 BC^2 模型	50
3.2 具有无穷多个决策单元的 C^2W 模型	61
3.3 锥比率的 DEA 模型 —— C^2WH 模型	64
参考文献	80
第 4 章 判断 DEA 有效性的算法及程序设计	82
4.1 DEA 软件开发的必要性	82
4.2 C^2R 模型与 BC^2 模型的算法设计	84
4.3 C^2R 模型与 BC^2 模型的计算机程序设计	91
4.4 判断 DEA 有效 (C^2R , BC^2) 的一个新算法	111
参考文献	117
第 5 章 综合 DEA 模型及其软件系统设计	119
5.1 DEA 模型中目标函数和约束条件的特征分析	119
5.2 综合 DEA 模型及其相关性质	123
5.3 基于目标规划的综合 DEA 模型及其性质	135

5.4 综合 DEA 模型的软件系统设计	140
参考文献	141
第 6 章 DEA 模型的工程效率含义研究	143
6.1 四个典型的 DEA 模型及 DEA 有效性概念	143
6.2 基于工程效率概念的综合 DEA 模型及性质	145
6.3 DEA 模型的工程效率含义	149
6.4 应用举例	152
6.5 结束语	153
参考文献	153
第 7 章 DEA 方法的本质特征与数据变换性质	155
7.1 DEA 有效性的本质特征	156
7.2 严格保序映射下的 DEA 有效性分析	162
7.3 应用偏序集理论研究数据变换的不变性	165
7.4 基于偏序集理论的 DEA 方法	169
7.5 P-DEA 方法在一类数据离散型评价问题中的应用	170
参考文献	172
第 8 章 样本数据包络面的研究与应用	173
8.1 基于样本单元评价的广义 DEA 模型	174
8.2 广义 DEA 模型 —— (Sam-Eva) 模型的含义分析	181
8.3 样本数据包络面整体移动的排序方法	188
8.4 广义 DEA 方法在 DEA 有效单元分析中的应用	189
8.5 广义 DEA 方法在单元组合问题中的应用	192
8.6 应用举例	193
参考文献	195
第 9 章 一种评价多层次复杂系统的 DEA 方法	196
9.1 应用 DEA 方法评价复杂系统问题的优点和不足	196
9.2 用于复杂系统指标分析的三维图形法	197
9.3 一种评价多层次复杂系统的 DEA 模型	199
9.4 中国城市经济社会整体发展效率的综合评价	203
参考文献	207
第 10 章 作用条件与作用效果的相关性分析方法	208
10.1 问题的描述和方法的适用范围	208
10.2 作用效果有效性的综合分析 with 度量	209

10.3	作用条件与作用效果有效性分析方法 (Con-Eff)·····	216
10.4	算例分析与比较·····	218
10.5	结束语·····	220
	参考文献·····	220
第 11 章	基于 DEA 的经济运行有效性分析方法 ·····	221
11.1	一种用于区域经济效益评价的非参数方法·····	221
11.2	一种用于区域经济业绩评价的非参数方法·····	232
11.3	一种用于区域经济发展可持续性评价的方法·····	243
11.4	用于区域经济整体效率评价的 DEA 方法·····	250
	参考文献·····	260
第 12 章	用于公路网络综合评价的 DEA 方法 ·····	261
12.1	用于交通网络整体水平评价的计量模型·····	262
12.2	基于 (HTNE) 模型的公路网整体有效性的含义·····	263
12.3	用于路网规划与设计分析的定量方法·····	267
12.4	应用举例·····	271
	参考文献·····	274
第 13 章	基于 DEA 的风险评估方法研究 ·····	276
13.1	一种基于 DEA 的多风险综合评价方法·····	276
13.2	降低风险措施有效性评价的一种非参数方法·····	288
	参考文献·····	300
第 14 章	一种评价组合有效性的非参数方法 ·····	301
14.1	评价联合型组合问题的 DEA 模型·····	301
14.2	评价竞争型组合问题的 DEA 模型·····	305
14.3	评价重组型组合问题的 DEA 模型·····	306
14.4	评价组合有效性模型的相关性质·····	308
14.5	生产可能集的构造及模型含义·····	311
14.6	评价组合有效性模型的求解方法·····	312
14.7	基于 DEA 方法的企业组合有效性分析·····	314
	参考文献·····	316
第 15 章	高等学校计算机实验室综合绩效评估方法 ·····	317
15.1	基于偏序集理论的绩效评估模型·····	317
15.2	权重受限的 (MaxE) 模型·····	319
15.3	用于计算机实验室绩效评价的定量方法·····	323

参考文献	325
第 16 章 基于 DEA 的生物信息评价方法	326
16.1 实验装置及实验设计	327
16.2 电场处理种子幼苗单项评价指标分析与计算	328
16.3 用于电场处理效果综合评价的 DEA 方法 (Elc-Pla)	329
16.4 电场对小麦种子影响的结果分析	332
16.5 结束语	335
参考文献	335

第 1 章 数据包络分析方法的研究进展

首先,对近年来 DEA 方法的主要成果进行了系统的分析和归纳,阐述了它的若干重要问题的主要研究进展.同时,在 DEA 应用方面,针对实际问题复杂多样、范围极其广泛以及 DEA 模型本身种类较多等特点,给出应用 DEA 方法的具体工作步骤,并明确了每个步骤上应该完成的任务.最后,提出 DEA 方法研究中值得关注的几个问题.本章内容主要取材于文献 [1].

数据包络分析 (data envelopment analysis, DEA) 是美国著名运筹学家 Charnes 等提出的一种效率评价方法^[2]. 它把单输入、单输出的工程效率概念推广到多输入、多输出同类决策单元 (decision making unit, DMU) 的有效性评价中,极大地丰富了微观经济中的生产函数理论及其应用技术,同时在避免主观因素、简化算法、减少误差等方面有着不可低估的优越性. DEA 方法一出现就以其独有的特点和优势受到了人们的关注,不论在理论研究还是在实际应用方面都得到了迅速发展,并取得了多方面的成果^[1,3],现已成为管理科学、系统工程和决策分析、评价技术等领域中一种常用而且重要的分析工具和研究手段^[4]. 目前,国内外可以检索到的有关 DEA 的学位论文有数百篇,学术论文近万篇,特别是最近几年,DEA 的研究呈现迅速上升的趋势.

从图 1.1 和表 1.1 (见文献 [5]) 可见,自 1978 年以来,DEA 方法的研究保持了持续、快速增长的趋势,许多重要的成果都发表在国际著名杂志上,在经济管理学领域具有重要的地位和影响.

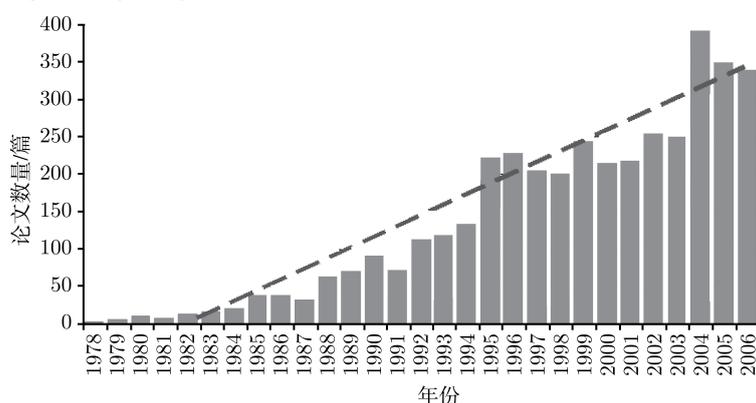


图 1.1 DEA 相关论文的发表情况

表 1.1 发表 DEA 论文数量最多的 20 种著名期刊

期刊	论文数量	占论文总量的比例/%
European Journal of Operational Research (EJOR)	373	23.0
JPA:Journal of Productivity Analysis	242	14.9
JORS:Journal of the Operational Research Society	164	10.1
Applied Economics	86	5.3
Annals of Operations Research	83	5.1
Management Science	83	5.1
OMEGA	73	4.5
Applied Mathematics and Computation	63	3.9
Socio-Economic Planning Sciences	63	3.9
International Journal of Production Economics	58	3.6
Computer and Operations Research	48	3.0
International Journal of Systems Science	41	2.5
Journal of Econometrics	37	2.3
Applied Economics Letters	35	2.2
Journal of Banking and Finance	35	2.2
Health care Management Science	29	1.8
Journal of Medical Systems	29	1.8
Journal of Operations Research Society of Japan	28	1.7
System Engineering Theory and Practice	26	1.6
Review of Economics and Statistics	25	1.5
合计	1621	100.00

DEA 方法在中国的发展十分迅速. 应用中国期刊全文数据库 (<http://www.cnki.net>) 检索发现: 1986~2007 年可以检索到和 DEA 有关的中文论文近 3000 篇. 从图 1.2 可以看出, 截止到 2009 年, 从第一篇 DEA 论文的发表到现在已经有 24 个年头, 如果以 8 年为一个阶段, 那么, DEA 方法在中国基本上经历了如下三个阶段: ① 起步阶段 (1986~1993); ② 发展阶段 (1994~2001); ③ 繁荣阶段 (2002~2009).

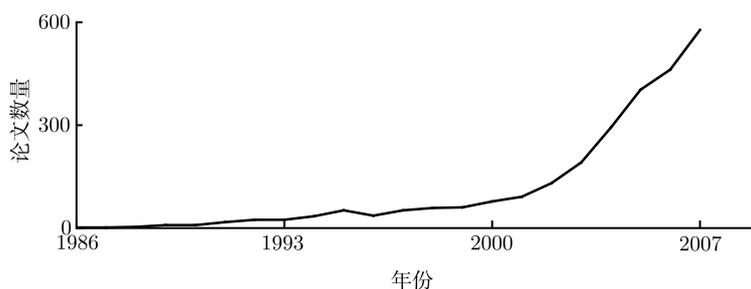


图 1.2 1986~2007 年与 DEA 有关的中文论文的发表情况

为了便于 DEA 方法的进一步研究和应用,本章首先对 DEA 方法研究的主要成果进行了系统分析和归纳,阐述了它的若干重要问题的主要研究进展.然后,在 DEA 应用方面,由于实际问题复杂多样、范围极其广泛,DEA 模型本身又种类较多,为了能够建立合理的指标体系、选择恰当的模型并作出客观的分析,必须首先有一套正确的工作步骤,这样才能最大限度地发挥 DEA 方法的优势,并提供更加合理的信息.以下在已有工作^[6]的基础上,从系统工程^[7]的工作方法出发,对这一问题进行了进一步分析.最后,由于 DEA 方法的快速发展带来了 DEA 研究的许多新趋势.目前 DEA 的应用研究十分活跃,而如何实现 DEA 方法的理论突破成为 DEA 研究的关键.作者在总结近年来 DEA 研究的基础上,提出了 DEA 理论研究中值得关注的几个重要方向.

1.1 DEA 方法的研究进展

自 1978 年以来,DEA 方法发展极其迅速,在理论和应用上均获得了多方面的进展.这主要表现在以下三个方面.

1.1.1 DEA 模型的进展

1978 年,Charnes 等以单输入、单输出的工程效率概念为基础提出了第一个 DEA 模型—— C^2R 模型. C^2R 模型从公理化的模式出发,刻画了生产的规模与技术有效性.这个模型的产生不仅扩大了人们对生产理论的认识,而且也评价多目标问题提供了有效的途径,使得研究生产函数理论的主要技术手段由参数方法发展成为参数与非参数方法并重.在此基础上,又派生出一系列新的 DEA 模型,主要有以下七种类型.

1. 适应不同规模收益的 DEA 模型

对具有不同规模收益条件下的 DEA 模型的研究是 DEA 研究的一项重要内容. C^2R 模型是一个刻画生产的规模与技术有效的 DEA 模型.1984 年,Banker 和 Charnes 等针对生产可能集中的锥性假设不成立,给出了另一个评价生产技术相对有效的 DEA 模型—— BC^2 模型^[8,9].同时,Färe 和 Grosskopf 也给出了满足规模收益非递增的 DEA 模型——FG 模型^[10].1990 年,Seiford 和 Thrall 给出了满足规模收益非递减的 DEA 模型——ST 模型^[11].上述模型是非常经典的 DEA 模型,它们对经济学中的规模收益评价问题构成了一个完整的体系.

2. 对权重的改进

最初的 DEA 模型对权重没有任何限制,它实际上是选取了对被估单元最有利的权重,这样得出的结果可能不符合客观实际,因而对权重加以研究是人们一直关

注的问题. 1989 年, Charnes 等给出了一个含有偏好的 DEA 模型—— C^2WH 模型^[12], 这一模型通过调整锥比率的方式能够反映决策者的偏好, 从而使决策更能反映人的意愿. 由于 C^2WH 模型本身并不直观和具体, 因此, 针对不同的情况又有许多特殊形式的模型被讨论. 例如, 文献 [13] 针对权重间具有强序关系或弱序关系的情况, 给出了权重弱排序和权重严排序的 DEA 模型. 文献 [14] 根据船型设计的具体特点, 给出了用于船型设计方案有效性评价的模型.

3. 对输入输出方面的改进

最初的 DEA 模型中对所有的输入输出指标没有任何限制, 但在实际问题中它们有时是不可控的. Banker 等于 1986 年提出并研究了能处理既含有可控输入 (出) 又含有不可控输入 (出) 的 DEA 模型^[15]. 1995 年, 刘永清等又给出了要素在有限范围内变化的 DEA 模型^[16]. 1995 年, 何静针对评价单元只有输入或输出的情况进行了研究, 给出了评价只有输出 (入) 指标的模型并讨论了其相关性质^[17]. 另外, 还有人研究过使用类别变量的 DEA 模型^[18]、以序数词作为输入输出变量的 DEA 模型^[19] 等.

4. 对决策单元的改进

原始的 DEA 模型是针对决策单元有限的情况进行讨论的, 为了解决具有无限多个决策单元的评价问题, 1986 年, Charnes 等利用半无限规划理论将 C^2R 模型推广到具有无限多个决策单元的情况, 给出了 C^2W 模型^[20]. 实际上, C^2WY 模型^[21] 和 Banach 空间中的 DEA 模型^[22] 也是可处理具有无限多个决策单元的 DEA 模型.

5. 综合 DEA 模型的研究

由于适合于不同需要的 DEA 模型已提出多种, 一些新的模型还在不断涌现. 那么, 对每一模型的基本性质、求解方法等都分别进行讨论, 常常会出现一些重复的工作, 并且也给编程和使用带来不便. 1989 年, Charnes 等给出了一个综合的 DEA 模型—— C^2WY 模型, 这一模型除包含了两个最基本的 DEA 模型外, 还包含 C^2W 模型和 C^2WH 模型. 而后, 李树根等于 1996 年给出了 Banach 空间中的 DEA 模型, 证明了有限空间中的上述模型都是 Banach 空间中的 DEA 模型的特例. 这些模型的提出对研究 DEA 模型的一般性质具有重要意义, 但 C^2WY 模型不能直接进行编程计算. 因此, 文献 [23] 给出了一个综合的 DEA 模型 (ZHDEA), 并探讨了其求解方法. 这一模型不仅包含了多种常用的 DEA 模型, 而且还可以直接编程计算^[24], 通过确定一些参数就可以获得一些常用的模型, 给使用带来了方便.

6. DEA 模型应用空间的推广

某些系统用欧氏空间去表示和处理有时会遇到困难. 因此, 文献 [22] 引入了 Banach 空间的 DEA 模型. 文献 [25] 提出了基于 Fuzzy 集理论的 DEA 模型. 而后, 文献 [26]~[29] 又从偏序集的角度刻画了 DEA 有效单元的本质特征, 并推广了 DEA 有效性的概念, 给出了 SEA 方法. 这一模型不仅是应用偏序集理论对欧氏空间难以处理系统评价的一种尝试, 同时也为偏序集理论在决策分析中的应用找到一个有效途径.

7. 基于样本单元评价的 DEA 模型

如果将评价的参照集分成“决策单元集”和“非决策单元集”两类, 那么传统的 DEA 方法只能给出相对于决策单元集的信息, 而无法依据任何非决策单元集进行评价, 这使得 DEA 方法在众多评价问题中的应用受到限制. 针对传统数据包络分析方法无法依据指定参考集提供评价信息的弱点, 文献 [30]~[33] 探讨了依据样本评价决策单元有效性的 DEA 模型. 从该方法出发, 可以在择优排序^[34]、风险评估^[35]、评价组合效率^[36] 等许多方面给出更为有效的分析方法. 例如, 应用该方法不仅可以将传统的 $F-N$ 曲线分析方法推广到 n 维空间, 而且可以通过构造各种风险数据包络面来划分风险区域、预测风险大小以及给出风险状况综合排序等.

此外, 还有发展 DEA 模型^[37]、动态 DEA 模型^[38] 以及考虑随机因素的 DEA 模型^[39] 等. 总之, 自 1978 年以来, 多种派生和专用的 DEA 模型相继诞生, 它们随着 DEA 方法的不断发展, 显示出越来越重要的地位, 并成为系统分析的有力工具之一.

1.1.2 DEA 相关理论的进展

DEA 理论的发展使人们对 DEA 方法的认识上升到一个新的高度. DEA 理论的进展主要表现为以下几个方面.

1. 对 DEA 有效性的研究

DEA 有效是 DEA 理论中最重要、最基本的概念. 由于它在 DEA 理论中的重要地位, 对 DEA 有效性问题的研究成果很多. 首先是对 DEA 有效性的含义以及 DEA 有效单元的结构与特征的认识. 例如, 1991 年, 李树根等对 C^2R 模型和 C^2W 模型下的 DEA 有效决策单元集合的结构进行了探讨, 给出了一些理论上的结果^[40]. 而后, 文献 [41] 又把总体有效分解为规模有效、饱和有效和纯技术有效三类, 并分析了各种有效的含义. 1994 年, 冯俊文讨论了 C^2R 模型和 C^2GS^2 模型的 DEA 有效性问题^[42], 给出了 DEA 有效及弱有效的一个充要条件, 并讨论了一些相关性质. 另外, 文献 [29] 还从偏序集的角度刻画了 DEA 有效的本质特征, 证明了 DEA 有效单元的本质就是某一个偏序集的极大元.

DEA 有效性与指标及决策单元个数之间的关系密切. 文献 [43] 对指标特性与 DEA 有效性的关系进行了探讨, 分析了评价指标增加或指标中存在线性关系时决策单元 DEA 有效性变化的规律. 文献 [44], [45] 给出了决策单元如何只改变输出使其变为有效的计算方法. 魏权龄等分析了决策单元的变更对 DEA 有效性的影响^[46].

1989 年, 魏权龄等针对综合 DEA 模型给出了 DEA 有效决策单元集合的几个恒等式^[47], 从而使决策单元进行分组评价成为可能, 进而为大规模决策单元的评价问题找到了简化的方法. 1993 年, 吴文江等给出了寻找 DEA 有效单元的一种新方法^[48]. 针对以往对有效单元的分析较少, 赵勇等^[49]还对有效单元进行了进一步探讨. 这些工作不仅为应用 DEA 方法进行评价提供了理论依据, 同时也增强了 DEA 方法评价的能力.

2. 数据变换不变性的研究

关于数据变换不变性的研究是 DEA 理论中一个十分重要的课题, 它与决策单元的灵敏度分析、发展的 DEA 模型及改变输入输出使决策单元有效等问题有十分紧密的关系, 因而对这一问题的讨论具有十分重要的意义. 文献 [50] 指出当观测点较少时, 对生产函数作线性逼近显得比较粗糙. 为此, 对数据作了一些调整转换, 通过这种转换可将实际前沿生产函数的局部线性逼近改为 Cobb-Douglas 生产函数的局部逼近, 从而使得生产前沿面的逼近更能反映生产实际. 文献 [51] 探讨了文献 [50] 变换的理论依据, 得到了数据在正严格保序变换下保持 DEA 有效性不变. 在此基础上, 文献 [52] 对数据变换下 DEA 有效性问题进行了探讨, 给出了一些基于偏序集理论的变换性质. 这些结论将有助于 DEA 方法的进一步应用和拓展.

3. 灵敏度分析

DEA 方法的灵敏度分析一直是 DEA 理论中一个重要的研究课题. 尽管目前线性规划的灵敏度分析已经接近成熟, 但通常的线性规划的灵敏度分析不能直接应用于 DEA 方法的灵敏度分析中. 因此, 1985 年, Charnes 等从构造一个特殊的逆矩阵的角度出发, 研究了有效决策单元单个产出量变化时的灵敏度分析^[53]. 而后, Charnes 等又利用基础解系矩阵对加性 DEA 模型的灵敏度分析问题进行了探讨^[54]. 1994 年, 朱乔等还分析了 C^2R 模型的稳定性问题^[55]. 在这些工作的基础上, 1997 年, 何静等给出了有关决策单元为 DEA 有效 (C^2R 或 C^2GS^2) 的充要条件的两个定理, 并用它分析了 DEA 的灵敏度问题^[56]. 另外, 杨印生等还研究了带有参数的 C^2R 模型的灵敏度问题^[57].

4. DEA 方法与其他方法的比较研究

DEA 方法与其他评价方法的比较研究是一项十分引人注目的工作. 1993 年, 王应明等指出了 DEA 方法、层次分析法、模糊综合评价方法等用于评价工业经济效

益的不足^[58], 在这些评价方法的基础上给出了一种新的基于权重的评价方法. 1998年, 王宗军对主要的综合评价方法进行了分析和比较研究^[59], 分析了 DEA 方法的弱点在于应用范围仅限于一类多输入、多输出对象系统的评价, 对有效决策单元所能给出的信息太少, 同时还指出尝试将各种方法综合运用是综合评价的一个研究趋势.

5. DEA 有效的偏好性质

原有的 DEA 理论是以工程效率和生产函数理论为基础发展起来的, 文献 [26]~[28] 的研究发现应用偏序集理论可以刻画 DEA 有效单元的本质特征, 对 DEA 有效给出不同于 Charnes 等的原始解释, 而且还可以深入到 DEA 理论研究的许多方面 (如研究指标性质、讨论模型关系、分析数据变换等). 文献 [29] 的研究表明: 从偏序集理论出发研究 DEA 方法与以往的研究基础和研究手段不同, 因而具有鲜明的特色和独特的优势, 并为 DEA 方法的进一步拓展提供了新的理论基础. 例如, 用偏序集理论去解释 DEA 有效性, 就不再需要输入输出指标间必须具有“投入”和“产出”关系, 同时指标数据的运算空间也由实数空间扩展到只需满足偏序关系的任何空间. 这些理论初步奠定了基于偏好关系的数据包络分析方法的理论基础.

另外, 其他方面的成果还有很多, 限于篇幅, 不再一一列举.

1.1.3 DEA 方法的应用进展

DEA 方法是评价多输入、多输出同类部门 (或单位) 间相对有效性的一种重要方法. 它的第一个成功应用的案例是对为弱智儿童开设的公立学校项目的评价, 在评价过程中选取了如“父母的照顾”等一些不可公度的指标, 同时也选取了如“自尊”等一些无形的指标^[4]. DEA 方法不仅能对此问题进行评价, 而且评价结果能够反映大规模社会实验的结果. DEA 方法在实践中的成功应用, 越来越引起人们的重视, 使其在许多领域得到了发展, 特别是近年来 DEA 方法的应用呈现迅速增长的趋势, 逐渐成为经济管理学热点领域.

为了初步概括 DEA 方法在中国的应用状况, 以下应用中国期刊全文数据库围绕经济管理学中与 DEA 相关的 14 个重要关键词进行了“主题”检索, 得到的结果如图 1.3 所示.

从图 1.3 可以看出, DEA 方法的应用十分广泛, 涉及了经济管理学科的众多研究领域. 目前, DEA 方法的研究主要集中在经济系统评价与分析、人力资源管理、技术创新与技术进步、金融分析、财务管理、银行管理、物流与供应链管理等许多领域. 下面将对几个主要应用领域进行概述和分析.

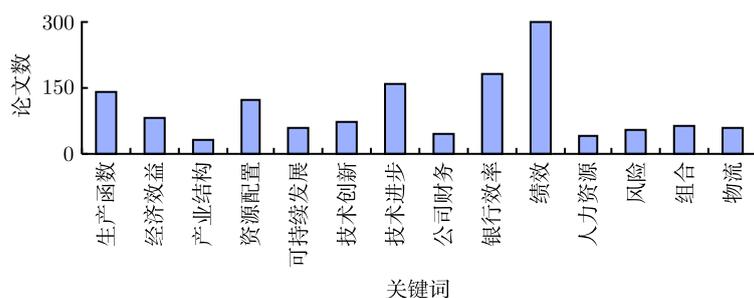


图 1.3 经济管理相关领域中 DEA 中文论文发表的数量

1. DEA 方法在刻画生产函数方面的应用

DEA 方法的产生具有深刻的经济背景,这决定了它在经济分析领域中的重要价值.作为评价经济系统相对效率的方法,它与生产函数具有紧密的联系.1988年,魏权龄等介绍了运用 DEA 模型建立生产函数的方法^[60],进而证明了在单一输出的情况下,DEA 有效曲面就是生产函数曲面^[61].此外,DEA 方法在阶段 C-D 前沿生产函数和外沿生产函数的估计方面也有应用^[62,63].1998年,郭京福等讨论了 DEA 方法与生产函数之间的内在关联^[64],将生产前沿参数方法与非参数方法进行了比较研究.

2. DEA 方法在经济效率评价中的应用

DEA 方法的另一个较活跃的应用领域是对效率和效益方面的研究.用 DEA 方法研究企业经济效益是一个非常有意义的课题.1990年,魏权龄等应用 DEA 方法对中国纺织工业系统内的 177 个大中型棉纺织企业的经济效益进行了评价.在此基础上,文献 [65], [66] 都对 DEA 方法进行了改进并应用改进的模型对工业企业经济效益问题进行了探讨.2003年,文献 [67] 应用 DEA 方法评估了经济合作与开发组织的 11 个城市制造业 20 年间的生产效率,从技术有效性的角度分析了各地区制造业的生命力.

3. DEA 方法在区域经济研究中的应用

区域经济发展在整个国民经济发展过程中有着举足轻重的作用. DEA 方法是评价经济发展有效性的一种重要方法,1986年,Macmillan 将 DEA 方法用于区域经济研究^[68],并用 DEA 方法来评价中国主要省市的效率,以 DEA 评价结果为基础,对无效地区进行了分析.文献 [69] 也应用 DEA 方法探讨了城市经济发展状况.随后,DEA 方法在区域经济评价中的应用陆续增多.1995年,Bannistter 等用 DEA 方法测量了墨西哥不同区域制造业的效率^[70],发现了区域效率、区域工业集中度和生产规模间的关系.文献 [71] 应用 DEA 方法成功地分析了泰国宏观经济的走势和

金融危机产生的原因. 文献 [72] 从偏序集理论出发对原有的理论进行了拓展, 给出了用于区域经济发展评价的纵向分析图形法. 这些结论不仅对经济发展状况给出了合理评价, 而且还能分析经济有效性的变化规律、预测经济发展的趋势.

4. DEA 方法在资源配置中的应用

合理的资源配置可以大大地提高生产的效率和效益. 因此, 寻找最佳的资源配置, 并根据生产状况不断调整生产结构一直是管理者努力的方向. 例如, 文献 [73], [74] 曾利用 DEA 方法分析了生产单元的最小成本及最大收益, 以及投入产出的最佳组合效率问题. 文献 [75] 建立了具有锥结构的资源分配模型, 并用非参数 DEA 方法进行经济分析, 得到了更为丰富的经济和管理信息. 文献 [76] 在资源配置分析中提出了价格非有效、绝对冗余、相对冗余等概念. 文献 [77], [78] 从综合 DEA 模型出发对 DEA 有效与规模收益进行了比较系统的研究.

5. DEA 方法在技术进步与可持续发展中的应用

技术进步与生产函数之间关系密切, 而 DEA 方法在刻画生产函数中的重要作用使得它在评估技术进步方面更具优势. 1991 年, 魏权龄等通过由 DEA 模型确定生产前沿面的途径给出了一种测算技术进步水平和技术进步速度的模型^[79]. 而后, 文献 [80] 对评估技术进步的几种方法作了分析和归纳, 并借助 DEA 理论探讨了技术进步与规模报酬的关系. 在可持续发展研究方面, 文献 [81] 探讨了 DEA 方法在城市可持续发展中的应用, 得出许多有意义的结论.

6. DEA 方法在绩效评估中的应用

绩效评估是管理学中的重要内容, 由于 DEA 方法不必事先确定评价指标的权重, 因而评价结果更具客观性. DEA 在该领域中的应用十分广泛, 如 1999 年, 崔南方等探讨了 DEA 在评估业务流程绩效、选择流程重构方案和连续改进业务流程中的应用^[82]; 文献 [83] 运用复合 DEA 方法提出了测度和评价企业知识管理绩效的方法; 文献 [84] 应用 DEA 方法对高校科研绩效进行了实证研究.

7. DEA 方法在物流与供应链管理中的应用

物流产业作为国民经济的一个重要组成部分, 它的发展水平正在成为衡量一个国家综合国力、经济运行质量与企业竞争力的重要指标. DEA 方法在物流与供应链管理研究领域中的应用十分广泛, 主要集中在物流企业绩效评价、物流服务提供商的选择和评判、物流中心选址、物流配送效率、企业自营物流等许多方面. 国外学者应用 DEA 方法评价物流系统的研究较早, 也比较深入^[85~87]. 目前, 国内有关 DEA 方法在物流与供应链管理中的应用正日趋增多^[88], 它的影响也在不断扩大和加深.

8. DEA 方法在银行评价中的应用

DEA 方法在商业银行评价方面的应用很多, 可以检索到有关 DEA 方法在商业银行应用的中文论文就超过了 100 篇, 获得了许多研究进展. 例如, 文献 [89] 曾结合中国内地商业银行的投入和产出的特点, 建立了综合考虑银行盈利能力与风险控制能力的投入产出指标体系和中国商业银行综合效率的评价模型. 文献 [90] 应用 DEA 方法对中国商业银行的技术效率进行了实证研究, 并将技术效率分解为纯技术效率、规模效率、投入要素可处置度等. DEA 方法在银行方面的应用主要分布在银行的效率评价^[91~93]、收入结构与收入效率的关系研究^[94]、商业银行的技术效率与技术进步^[90]、绩效评价^[95]、商业银行的综合竞争力排名^[96] 等许多方面.

9. DEA 方法在组合有效性评价中的应用

竞争与联合问题广泛存在于经济和社会发展的各个层面, 对它的研究一直是管理学和经济学研究的重点之一. 对于企业而言, 如何正确估计群体效率状况, 如何有效判断复杂条件下的竞争环境, 如何通过有效联合来达到提升自身实力、抑制竞争对手的目的, 这些问题都将成为企业关注的热点. 另一方面, 激烈的竞争也有可能导致一系列负面影响, 如价格战、恶性竞争等情况的发生. 对于市场的监控者而言, 掌握复杂环境下的企业群落整体态势也是实现有效调控的基本前提. 文献 [97]~[100] 通过把评价对象与评价参考集分离, 建立了一套用于评价联合、竞争、重组有效性的非参数评估理论, 这套理论对中国目前正在实施的国有企业改革、区域经济投资分析、企业战略重组、产业集群发展等许多重大问题都具有应用价值.

10. DEA 方法在风险评估领域中的应用

系统的安全性与风险性是近代可靠性工程中研究的重要课题^[101]. 某些系统常常置于多种风险之下, 这些风险可能涉及生命、健康、环境和财产等诸多方面, 产生的原因和内部关系也十分复杂. 文献 [102]~[105] 以 DEA 方法为基础, 不仅提出了 N 维风险空间中的一些新概念, 同时, 还建立了一种基于样本评价系统风险的非参数方法. 该方法不仅能对决策单元的风险状况进行排序和评价, 而且还能根据被评价单元在最大风险曲面和最小风险曲面上的投影, 预测风险指标增长的可能趋势、发现风险指标降低的可行方向, 进而根据每种风险指标代表的具体情况采取相应的对策. 这些工作不仅推广了传统的定量综合安全评估理论, 同时也扩大了 DEA 方法的应用范围. 另外, 文献 [104] 还探讨了有关方法在舰船结构全寿命综合评估和结构设计中的应用.

总之, DEA 方法应用广泛, 成功的案例很多, 随着经济和社会的发展, DEA 方法也必将被不断地完善, 在经济建设中发挥更大的作用.

单元的选取要具有一定的代表性.

(3) 收集和整理的数据具有可获得性.

(4) 根据有效性分析的目的和实际问题的背景选择适当的 DEA 模型进行计算.

1.2.3 分析结果阶段

这一阶段要完成以下工作:

(1) 在上述工作的基础上, 对计算结果进行分析和比较, 找出无效单元无效的原因, 并提供进一步改进的途径.

(2) 根据定性的分析和预测的结果来考察评价结果的合理性. 必要时可应用 DEA 模型采取几种方案分别评价, 并将结果综合分析, 也可结合其他评价方法或参考其他方法提供的信息进行综合分析.

总之, 在 DEA 方法的应用过程中, 要根据具体情况灵活应用, 深刻理解问题的本质, 并深入思考模型与问题的匹配程度, 切不可机械地模仿和使用. 有时候为了得到比较可靠的结果, 可能还需要在上面几个步骤上多次反复.

1.3 DEA 方法研究中值得关注的几个方向

DEA 方法是评价一类具有多输入、多输出单元效率的有效方法, 近 30 年来得到了较大的发展, 在社会发展中发挥了应有的作用. 目前, DEA 的应用研究十分活跃, 而如何实现 DEA 方法的理论突破成为 DEA 研究的关键. 作者认为 DEA 方法在以下几个方面值得关注和探索.

1. DEA 方法在数据挖掘和知识发现领域中的应用

尽管许多学者已经注意到 DEA 方法在数据挖掘领域中的重要应用前景, 但从目前掌握的资料看, 以往直接应用 DEA 方法探讨数据挖掘方法的论文还很少见, 近几年一些学者开始了有益尝试, 已经取得了较好的进展. DEA 方法作为一种重要的数据分析和知识发现的新方法, 在包括数据挖掘和知识发现在内的众多数据分析领域将会产生重要影响.

2. 考虑决策单元内部结构和外部关系的 DEA 模型研究

将决策单元内部结构和外部关系纳入 DEA 模型的构造是 DEA 研究的又一重要方向. 原有的 DEA 模型并不考虑决策单元的内部结构和外部关系, 但对于许多现实问题要求对决策单元内部的“黑箱”进行分析. 例如, 目前提出的二阶段 DEA 模型^[106]、具有多个子系统的 DEA 模型^[107] 以及网络 DEA 模型等都是针对该类问题开展的研究.

3. DEA 方法与偏序集理论

DEA 有效单元与偏序集的关系密切, 原有的 DEA 理论是以工程效率概念和生产函数理论为基础发展起来的, 但应用偏序集理论不仅可以刻画 DEA 有效单元的本质特征, 对 DEA 有效给出不同于 Charnes 等的原始解释, 而且赋予 DEA 有效性以更加广泛的含义. 从偏序集的角度研究 DEA 方法不仅能丰富 DEA 方法的理论, 而且有助于 DEA 方法的推广.

4. 基于样本单元评价的 DEA 模型

如果将评价的参照集分成“决策单元集”和“非决策单元集”两类, 那么传统的 DEA 方法只能给出相对于决策单元集的信息, 而无法依据任何非决策单元集进行评价, 这使得 DEA 方法在众多评价问题中的应用受到限制. 因此, 探讨基于样本单元评价的 DEA 模型是十分必要的.

5. DEA 方法与复杂系统研究

复杂系统评价方法的研究对经济和社会的发展意义重大, 但这同时也是一项十分艰巨的工作. 在应用 DEA 方法评价复杂系统时, 该方法既有独特的优势, 同时也存在着不足. 因此, 在这一方面进行更深入的研究, 不仅能够补充和完善现有的复杂系统评价方法, 而且有可能开辟 DEA 方法研究的新方向. 例如, 系统内部结构比较复杂、变量具有不同属性分类的 DEA 模型的研究等.

总之, DEA 方法是评价一类具有多输入多输出单元有效性的一种十分有效的方法. 30 多年来, 尽管 DEA 方法得到了较大的发展, 但 DEA 方法的研究仍然方兴未艾, 随着研究的进一步深入, 它必将在经济管理问题的评价中发挥更大的作用.

参 考 文 献

- [1] 马占新. 数据包络分析方法的研究进展 [J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(3): 42~46
- [2] 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
- [3] Cooper W W, Seiford L M, Thanassoulis E, Zanakakis S H. DEA and its uses in different countries[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 154(2): 337~344
- [4] 魏权龄. 评价相对有效性的 DEA 方法 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1988
- [5] Emrouznejad A, Parker B, Tavares G. Evaluation of research in efficiency and productivity: a survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA[J]. Journal of Socio-Economics Planning Science, 2008, 42(3): 151~157
- [6] 魏权龄, 卢刚. DEA 方法与模型的应用 —— 数据包络分析 (三) [J]. 系统工程理论与实践, 1989, 3(5): 67~75
- [7] 王众托. 系统工程引论 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1991

- [8] 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
- [9] Charnes A, Cooper W W, Golany B, et al. Foundations of data envelopment analysis for pareto-koopmans efficient empirical production functions[J]. *Journal of Econometrics*, 1985, 30(1): 91~107
- [10] Färe R, Grosskopf S. A nonparametric cost approach to scale efficiency[J]. *Scandinavian Journal of Economics*, 1985, 87(4): 594~604
- [11] Seiford L M, Thrall R M. Recent development in DEA. The mathematical programming approach to frontier analysis[J]. *Journal of Econometrics*, 1990, 46(1, 2): 7~38
- [12] Charnes A, Cooper W W, Wei Q L, et al. Cone ratio data envelopment analysis and multi-objective programming[J]. *International Journal of Systems Science*, 1989, 20(7): 1099~1118
- [13] 张景义. 一类偏好结构下的 DEA 分析方法和模型 [D]. 大连: 大连理工大学硕士学位论文, 1997
- [14] 刘寅东, 李树范, 唐焕文等. 船型技术经济综合评价的 DEA 方法 [J]. *大连理工大学学报*, 1995, 35(6): 873~878
- [15] Banker R D, Morey R C. Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs[J]. *Operations Research*, 1986, 34(4): 513~520
- [16] 刘永清, 李光金. 要素在有限范围变化的 DEA 模型 [J]. *系统工程学报*, 1995, 10(4): 87~94
- [17] 何静. 只有输出 (入) 的数据包络分析及应用 [J]. *系统工程学报*, 1995, 10(2): 49~55
- [18] Banker R D, Morey R. The use of categorical variables in data envelopment analysis[J]. *Management Science*, 1986, 32(12): 1613~1626
- [19] Cook W D, Kress M, Seiford L. On the use of ordinal data in data envelopment analysis[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 1993, 44(2): 133~140
- [20] Charnes A, Cooper W W, Wei Q L. A semi-infinite multi-criteria programming approach to data envelopment analysis with infinitely many decision making units[R]. The University of Texas at Austin, Center for Cybernetic Studies Report, CCS 551, September, 1986
- [21] Charnes A, Cooper W W, Wei Q L, et al. Compositive data envelopment analysis and multi-objective programming[R]. The University of Texas at Austin, Center for Cybernetic Studies Report, CCS 633, June 1989
- [22] 李树根, 杨印生, 郝海. Banach 空间的 DEA 模型 [C]. 东北运筹编委会, 东北工业与应用数学编委会. 东北运筹与应用数学. 大连: 大连理工大学出版社, 1996
- [23] 马占新, 唐焕文. 一个综合的 DEA 模型及其相关性质 [J]. *系统工程学报*, 1999, 14 (4): 311~316

- [24] 马占新. 综合数据包络分析模型及其软件系统设计 [J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(12): 1917~1922
- [25] 杨印生, 张德俊, 李树根. 基于 Fuzzy 集理论的数据包络分析模型 [C]. 王彩华, 欧进萍, 宋连天等. 第三届全国模糊分析设计学术会议论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993
- [26] 马占新, 唐焕文. DEA 有效单元的特征及 SEA 方法 [J]. 大连理工大学学报, 1999, 39(4): 577~582
- [27] 马占新, 唐焕文, 戴仰山. 偏序集理论在数据包络分析中的应用研究 [J]. 系统工程学报, 2002, 17(1): 19~25
- [28] 马占新. 偏序集理论在 DEA 相关理论中的应用研究. 系统工程学报 [J], 2002, 17(3): 193~198
- [29] 马占新. 基于偏序集理论的数据包络分析方法研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(4): 11~17
- [30] 马占新. 一种基于样本前沿面的综合评价方法 [J]. 内蒙古大学学报, 2002, 33(6): 606~610
- [31] 马占新, 吕喜明. 带有偏好锥的样本数据包络分析方法研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(8): 1275~1282
- [32] 马占新, 马生昀. 基于 C^2W 模型的广义数据包络分析方法研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(2): 366~372
- [33] 马占新, 马生昀. 基于 C^2WY 模型的广义数据包络分析方法研究 [J]. 系统工程学报, 已录用
- [34] 马占新. 样本数据包络面的研究与应用 [J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(12): 32~37
- [35] 马占新, 任慧龙, 戴仰山. DEA 方法在多风险事件综合评价中的应用研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(8): 7~11
- [36] 马占新, 张海娟. 用于组合有效性综合评价的非参数方法研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(5): 699~703, 787
- [37] 周泽昆, 陈珽. 评价管理效率的一种新方法 [J]. 系统工程, 1986, 4(4): 42~49
- [38] Sengupta J K. A dynamic efficiency model using data envelopment analysis[J]. International Journal of Systems Science, 1996, 27(3): 277~284
- [39] Sengupta J K. Data envelopment analysis for efficiency measurement in the stochastic case[J]. Computers and Operations Research, 1987, 14(2): 117~129
- [40] 李树根, 杨印生. DEA 有效决策单元集合的结构 [J]. 吉林工业大学学报, 1991, 21(3): 1~4
- [41] 朱乔, 盛昭瀚, 吴广谋. DEA 模型中的有效性问题 [J]. 东南大学学报, 1994, 24(2): 78~82
- [42] 冯俊文. C^2R 和 C^2GS^2 的 DEA 有效性问题 [J]. 系统工程与电子技术, 1994, 16(7): 42~51
- [43] 吴广谋, 盛昭瀚. 指标特性与 DEA 有效性的关系 [J]. 东南大学学报, 1992, 21(5): 124~127
- [44] 吴文江. 只改变输出使决策单元变为 DEA 有效 [J]. 系统工程, 1995, 13(2): 17~20

- [45] 吴文江. DEA 中只改变输出使决策单元变为有效的方法 [J]. 山东建材学院学报, 1996, (1): 56~59
- [46] 魏权龄, 李宏余. 决策单元的变更对 DEA 有效性的影响 [J]. 北京航空航天大学学报, 1991, 17 (1): 85~97
- [47] 魏权龄, 卢刚, 岳明. 关于综合 DEA 模型中的 DEA 有效决策单元集合的几个恒等式 [J]. 系统科学与数学, 1989, 9(3): 282~288
- [48] 吴文江, 袁议方. 有关寻找 DEA 有效的决策单元的方法 [J]. 系统工程学报, 1993, 8(1): 80~88
- [49] 赵勇, 岳超源, 陈珽. 数据包络分析中有效单元的进一步分析 [J]. 系统工程学报, 1995, 10(4): 95~100
- [50] 岳明. 用 DEA 方法确定生产函数 [J]. 数学的实践与认识, 1990, 20(4): 38~46
- [51] 李纪选, 唐焕文, 李克秋. 用 DEA 方法确定生产函数的一点记注及决策单元 DEA 有效的条件 [J]. 应用基础与工程科学学报, 1996, 4(3): 241~247
- [52] 马占新, 唐焕文. 关于 DEA 有效性在数据变换下的不变性 [J]. 系统工程学报, 1999, 14(2): 40~45
- [53] Charnes A, Cooper W W, Lewin A Y, et al. Sensitivity and stability analysis in DEA[J]. Annals of Operations Research, 1985, 2(2): 139~156
- [54] Charnes A, Neralic L. Sensitivity analysis of the additive model in DEA[J]. European Journal of Operational Research, 1990, 48(7): 332~341
- [55] 朱乔, 陈遥. 数据包络分析的灵敏度研究及其应用 [J]. 系统工程学报, 1994, 9(6): 46~54
- [56] 何静, 吴文江. 有关 DEA 有效性 (C^2R 或 C^2GS^2) 的定理及其在灵敏度分析中的应用 [J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(8): 14~19
- [57] 杨印生, 王全文, 李树根. 带有参数的 C^2R 模型的灵敏度分析 [J]. 系统工程与电子技术, 1997, 19(12): 59~62
- [58] 王应明, 傅国伟. 一种用于工业经济效益综合评价的模型与方法 [J]. 系统工程与电子技术, 1993, 15(3): 18~21
- [59] 王宗军. 综合评价的方法、问题及其研究趋势 [J]. 管理科学学报, 1998, 1(1): 74~79
- [60] 魏权龄, 胡显佑, 肖志杰. DEA 方法与前沿生产函数 [J]. 经济数学, 1988, 6(5): 1~13
- [61] 魏权龄, 肖志杰. 生产函数与综合 DEA 模型 C^2WY [J]. 系统科学与数学, 1991, 11 (1): 43~51
- [62] 穆东. 阶段 C-D 前沿生产函数的 DEA 估计 [J]. 系统工程, 1995, 13(5): 48~51
- [63] 穆东. 外沿生产函数的 DEA 估计新方法 [J]. 山东矿业学院学报, 1995, 14(2): 163~166
- [64] 郭京福, 杨德礼. 生产前沿参数方法与非参数方法的比较研究 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18(11): 31~35
- [65] 曲雯毓, 唐焕文, 李克秋. 工业经济效益综合评价的 DEA 方法 [J]. 系统工程与电子技术, 1998, 20(10): 33~35
- [66] 冯英俊, 李成红. 全国各省市工业企业的相对效益及技术进步增长速度的测算方法及结果 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 1992, 24(4): 1~12

- [67] Shestalova V. Sequential malmquist Indices of productivity growth: an application to OECD industrial activities[J]. Journal of Productivity Analysis, 2003, 19(2): 211~226
- [68] Macmillan W D. The estimation and applications of multi-regional economic planning models using data environment analysis[C]. Papers of the Regional Science Association, 1986, 60: 44~57
- [69] Charnes A, Cooper W W, Li S L. Using data envelopment analysis to evaluate efficiency in the economic performance of Chinese cities[J]. Socio-Economic Planning Science, 1989, 23(6): 325~344
- [70] Bannistter G, Stolp C. Regional concentration and efficiency in Mexican manufacturing[J]. European Journal of Operation Research, 1995, 80(3): 672~690
- [71] 周子康, 吴长凤, 董昭等. 泰国宏观经济运行状态的综合评价 [J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(5): 58~61
- [72] 马占新, 唐焕文. 宏观经济发展状况综合评价的 DEA 方法 [J]. 系统工程, 2002, 20(2): 30~34
- [73] 吴文江. 收益最大 (成本最小) 问题与弱 DEA 有效性 (C^2R)[J]. 系统工程理论方法应用, 2002, 11(1): 77~81
- [74] 朱乔, 陈遥. 评价输入输出最佳组合的非参数方法 [J]. 系统工程理论与实践, 1994, 14(1): 69~73
- [75] 魏权龄, 韩松. 资源配置的非参数 DEA 模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(7): 59~64
- [76] 莫剑芳, 叶世绮. 基于 DEA 的资源配置状况分析 [J]. 运筹与管理, 2002, 11(1): 42~45
- [77] Yu G, Wei Q L, Brockett P. A generalized data envelopment analysis model: a unification and extension of existing methods for efficiency of decision making units[J]. Annals of Operations Research, 1996, 66: 47~89
- [78] Wei Q L, Yu G, Lu S J. A necessary and sufficient conditions for return to scale properties in generalized data envelopment analysis models[J]. Chinese Science, 2002, 45(5): 503~517
- [79] 魏权龄, Sun D B, 肖志杰. DEA 方法与技术进步评估 [J]. 系统工程学报, 1991, 6(2): 1~11
- [80] 杨仕辉. 技术进步评价比较研究 [J]. 系统工程理论与实践, 1993, 13(1): 59~63
- [81] 曾珍香, 顾培亮, 张闽. DEA 方法在可持续发展中的应用 [J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(8): 114~118
- [82] 崔南方, 陈荣秋, 李永平. 业务流程绩效综合评估的 DEA 方法 [J]. 华中理工大学学报, 1999, 27(4): 92~94
- [83] 王军霞, 官建成. 复合 DEA 方法在测度企业知识管理绩效中的应用 [J]. 科学学研究, 2002, 20(1): 84~88
- [84] 侯启娉. 基于 DEA 的研究型高校科研绩效评价应用研究 [J]. 研究与发展管理. 2005, 17(1): 118~124

- [85] Clarke R L, Gourdin K N. Measuring the efficiency of the logistics process[J]. Journal of Business Logistics, 1991, 12(2): 17~33
- [86] Tongzon J L. Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis[J]. Transport Research, Part A, 2001, 35(2): 113~128
- [87] Liang L, Yang F, Cook W D, et al. DEA models for supply chain efficiency evaluation[J]. Annals of Operations Research, 2006, 145: 35~49
- [88] 姚大强, 马占新. 数据包络分析方法在物流评价中的研究进展 [J]. 中国储运, 2007, (8): 119, 120
- [89] 迟国泰, 杨德, 吴珊珊. 基于 DEA 方法的中国商业银行综合效率的研究 [J]. 中国管理科学, 2006, 14(5): 52~61
- [90] 王付彪, 阚超, 沈谦等. 我国商业银行技术效率与技术进步实证研究 (1998~2004)[J]. 金融研究, 2006, (8): 122~132
- [91] 杨德, 迟国泰, 孙秀峰. 中国商业银行效率研究 [J]. 系统工程理论方法应用, 2005, 14(3): 252~258
- [92] 罗登跃. 基于 DEA 的商业银行效率实证研究 [J]. 管理科学, 2005, 18(2): 40~45
- [93] 李冠, 何明祥. 基于 DEA 的商业银行效率评价研究 [J]. 数学的实践与认识, 2005, 35(5): 50~58
- [94] 迟国泰, 孙秀峰, 郑杏果. 中国商业银行收入结构与收入效率关系研究 [J]. 系统工程学报, 2006, 21(6): 574~582, 605
- [95] 陈敬学. 商业银行分支行绩效评价的一种新方法: 数据包络法 [J]. 金融经济, 2006, (22): 79, 80
- [96] 安景文, 周茂非. 从效率角度验证我国商业银行的综合竞争力排名 [J]. 经济与管理研究, 2006, (2): 54~56, 96
- [97] Ma Z X, Zhang H J, Cui X H. Study on the Combination Efficiency of Industrial Enterprises[C]. Proceedings of International Conference on Management of Technology, Australia: Aussino Academic Publishing House, 2007, 225 ~230
- [98] 马占新, 张海娟. 用于组合有效性综合评价的非参数方法研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(5): 699~703, 787
- [99] 马占新. 竞争环境与组合效率综合评价的非参数方法研究 [J]. 控制与决策, 2008, 23(4): 420~424, 430
- [100] Ma Z X, Xing J. A Non-Parametric Method for Evaluating Reorganization Efficiency of an Enterprise Group[C]. 2009 International Conference on Engineering Management and Service Sciences, America: Aussino Academic Publishing House, 2009, (2): 19~23
- [101] 亨利 E J. 吕应中译. 可靠性工程与风险分析 [M]. 北京: 原子能出版社, 1988
- [102] 马占新, 任慧龙, 戴仰山. DEA 方法在多风险事件综合评价中的应用研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(8): 7~11

-
- [103] 马占新, 任慧龙. 一种基于样本的综合评价方法及其在 FSA 中的应用研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(2): 95~101
- [104] 马占新, 任慧龙. 船舶综合安全评估中的评价方法研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(10): 66~69
- [105] 马占新, 唐焕文. 降低风险措施有效性综合评价的一种非参数方法 [J]. 运筹学学报, 2005, 9(3): 89~96
- [106] Kao C, Hwang S N. Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: an application to non-life insurance companies in Taiwan[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 185: 418~429
- [107] Yang Y S, Ma B J, Koike M. Efficiency-measuring DEA model for production system with k independent subsystems [J]. Journal of the Operational Research Society of Japan, 2000, 43(3): 343~354

第2章 DEA 基本模型 —— C^2R 模型

C^2R 模型是数据包络分析 (DEA) 方法的第一个基本模型,也是学习 DEA 方法必须首先掌握的基础知识. 因此,以下主要从文献 [1], [2] 中抽取了部分内容,作为初学者学习的基础知识和介绍后续工作的准备知识,包括 C^2R 模型的构造与有效性定义、有效性判断、有效性含义、DEA 有效与多目标规划 Pareto 有效解之间的关系、决策单元在生产前沿面上的投影. 考虑到读者可能来自不同学科,为了便于理解,这里对有关内容进行了重新编排和梳理,并对文中的部分定理给出了更为简洁的证明.

第一个重要的 DEA 模型是 C^2R 模型,它是由美国著名运筹学家 Charnes 等以相对效率概念为基础提出的一种崭新的系统分析方法^[2]. 该方法将工程效率的定义推广到多输入、多输出系统的相对效率评价中,为决策单元 (DMU) 之间的相对效率评价提出了一个可行的方法和有效的工具.

由于 C^2R 模型是一个分式规划,使用 1962 年由 Charnes 和 Cooper 给出的 C^2 变换 (即 Charnes-Cooper 变换),可将分式规划化为一个与其等价的线性规划问题. 由线性规划的对偶理论,可以得到 C^2R 模型的对偶模型,该对偶模型的提出具有十分重要的意义,这主要表现在以下三个方面:

(1) 由原始的 DEA 模型判断 DEA 有效性比较困难,当将非阿基米德无穷小量引入该对偶模型时,就可以很容易地判断出决策单元的有效性.

(2) 通过该对偶规划就可以讨论 DEA 有效与相应的多目标规划 Pareto 有效之间的关系. 这为应用 DEA 方法描述生产函数理论提供了可能性.

(3) 应用该对偶模型还能判断各决策单元的投入规模是否适当,并给出各决策单元调整投入、扩大产出的可能方向和程度,因而具有独特的优势.

DEA 方法是以传统的工程效率概念和生产函数理论为基础来评价决策单元之间的相对效率,不仅可以对决策单元的有效性作出度量,而且还能指出决策单元非有效的原因和程度,给主管部门提供管理信息. 从多目标规划的角度来看,该对偶规划把 DEA 有效与相应的生产可能集和生产前沿面联系起来,获得的结果表明:判断一个决策单元是否为 DEA 有效,本质上是判断该决策单元是否落在生产可能集的生产前沿面上. 这里生产前沿面由观察到的决策单元输入输出数据包络面的有效部分构成,这也是该分析方法被称为“数据包络分析”的原因所在^[3].

为了使读者更好地了解 DEA 方法,以下将 C^2R 模型的核心内容进行了系统