

## 摘要

随着经济的发展，社会对能源的需求量越来越大，不可再生资源由于人们无节制的开采而日渐枯竭。因此，如何科学有效地利用能源，确保国民经济的可持续发展，已成为世界各国极其重要的研究课题。随着石油价格的不断飙升和气候环境的恶化，提高能源利用效率已经演变成为保障国家能源安全、维持经济发展和减轻环境污染的一项重要战略举措。我国能源不仅储量有限而且地区分布不均衡，人均常规能源资源不足。针对我国目前严峻的节能形势，党的十七大明确提出，加强能源资源节约，完善有利于节约能源资源的政策，加快形成可持续发展的体制机制，2009年两会政府工作报告中再次强调了今后节能的工作。为了节约能源，促进经济的可持续发展以及深化理论研究，有必要重视能源利用效率的统计测度方法研究。

本文首先，对能源利用效率的相关理论进行了梳理和甄别，介绍了国内外在该领域的研究现状；其次，详细阐述了能源利用效率的影响因素，对当前能源利用效率的绩效评价的几种常用方法进行分析比较，进而指出 DEA 模型在综合评价领域的应用优势；最后，通过构造一个基于能源—经济—环境 DEA 分析的模型和一个超效率 DEA 模型，对我国各区域、各省份的能源利用效率进行比较研究，深入分析其影响因素，从而进一步探讨了我国能源利用效率的改进措施，并提出一些参考建议。

本文的创新之处在于打破传统的单要素能源利用效率的计算方法，选取具有代表性的、能够综合考虑能源、经济、环境之间关系的能源利用效率指标，首次构建了一个超效率 DEA 模型，对我国能源利用效率进行多投入多产出的综合评价。既有对各个省份的评价也有各地区的整体评价，并且本文还进一步分析了我国能源利用效率的影响因素，对于 DEA 无效的省份指出了改进的途径和政策。

**关键词：**DEA 模型；能源利用效率；比较研究；超效率

## Abstract

With the development of economics, the society demanding for energy is growing, because of people's uncontrolled exploitation, the non-renewable resources are depleted day by day. So, how to use energy scientifically and efficiently and ensure the national economy's sustainable development have become a very important research topic all over the world. With oil prices soaring and climate and environment's deterioration, improving the efficiency of energy use has evolved into an important strategic initiative of protecting the national energy security, sustaining the economic development and reducing environmental pollution. China's energy reserves are not only limited but also the regional distribution of energy is uneven, the per capita conventional energy resources are inadequate. With the grave situation of China's current energy-saving, The 17th National Congress of the CPC has also proposed to strengthen the conservation of energy resources, help to promote the policy of saving energy resources, and accelerate the formation of an institutional mechanism for sustainable development. The report on the work of the government of NPC and CPPCC sessions in 2009 also makes it clear in the energy-saving proposal. In order to save energy, promote the sustainable economic development and deepen theoretical research, it is necessary to pay more attention on the study of energy statistics measurement methods.

Firstly, this paper cards and screens the energy efficiency of the related theories, introduces the significance and performance evaluation of energy efficiency at home and abroad in the field research. secondly, elaborates on the concept of energy efficiency and its influencing factors, on the current performance evaluation in the area of several common methods of comparison, further points out that DEA model in the comprehensive evaluation of the plication advantages. And finally, constructs a model which is based on energy - economy - environment DEA analysis and a super-efficiency DEA model,, then gives a comparative research of China's various regions and various provinces' energy efficiency, in-depth analyses the factors of China's energy efficiency, then further discusses the improvement measures of China's energy efficiency and makes some recommendations for reference.

The innovation of this paper performs on that it breaks the previous and traditional single-factor methods of calculating energy efficiency, selects some

representative energy efficiency indexes which can comprehensively considerate the relationship among energy, economy and environment , builds a super-efficiency DEA model for the first time, and gives China's energy efficiency a comprehensive evaluation with multi-inputs and multi-outputs. Not only on the evaluation of each province but also on the evaluation of various regions, and this paper further analyzes the factors of China's energy efficiency, for the DEA invalid provinces, it points out the ways and policies to improve their energy efficiency.

**Key Words:** DEA mode; energy efficiency; comparative research; super-efficiency;

## 插图索引

图 2.1 能源利用效率指标 .....	8
图 3.1 DEA 模型原理图 .....	17
图 3.2 超效率示意图 .....	21
图 3.3 DEA 方法流程图 .....	23
图 4.1 模型能源利用效率变动趋势图 .....	30
图 4.2 效率前沿面上各省被参考次数分布图 .....	33

## 附表索引

表 2.1 我国 2003~2008 年能源消费总量构成分布表 .....	9
表 2.2 我国 1998~2007 年各区域能源利用情况 .....	9
表 3.1 四投入两产出的相关系数表.....	27
表 4.1 基于模型 (5) 的各省能源利用效率分值 .....	29
表 4.2 基于超效率 DEA 的模型 (6) 的各省效率分值及排名 .....	32
表 4.3 效率前沿面上各省每年被参考次数统计表 .....	32
表 4.4 能源利用技术无效的省份的石油消费量的松弛变量分布 ( $s_4^-$ ) .....	34
表 4.5 能源利用无效的省份的煤炭消费量的松弛变量分布 ( $s_3^-$ ) .....	35
表 4.6 能源利用无效的省份的资本存量的松弛变量分布 ( $s_1^-$ ) .....	35
表 4.7 能源利用无效的省份的从业人员的松弛变量分布 ( $s_2^-$ ) .....	36
表 4.8 能源利用技术无效的省份的煤炭消费量经过改进后的理想值.....	38
表 4.9 能源利用技术无效的省份的石油消费量经过改进后的理想值.....	39
表 4.10 能源利用技术无效的省份的资本存量经过改进后的理想值 .....	39
表 4.11 能源利用技术无效的省份的从业人员经过改进后的理想值.....	40

# 第1章 绪论

## 1.1 选题背景及意义

能源是人类社会赖以生存的物质基础，是经济发展和社会进步的不可或缺的资源。随着经济的发展，人类社会对能源的需求量越来越大，非可再生能源由于人们无节制的开采而日渐枯竭。因此，如何科学有效地利用能源，确保国民经济的可持续发展，已成为世界各国极其重要的研究课题。自1973年世界石油危机出现以来，许多国家将能源利用效率的测量与监测作为国家能源策略的重要组成部分。随着石油价格的不断飙升和气候环境的恶化，提高能源利用效率已经演变成保障国家能源安全、维持经济发展和减轻环境污染的一项重要战略举措。特别地，在1997年，为了减少温室效应，在日本东京召开的第3次国际会议上，提出了减排目标：在2008~2012年间，每个国家的减排目标降低到1990年的水平。1995年，美国能源部发布了美国15个部门的能源利用效率指标与监测的研究报告。国际能源机构非常重视能源利用效率指标的研究，2001年，在50多个世界能源协会成员国的共同协助下，提出了一份关于能源利用效率政策与指标的研究报告。随后，亚洲太平洋能源研究中心、新西兰、澳大利亚及加拿大等国也相继发布了他们的能源利用效率指标的研究报告<sup>[1]</sup>。我国的能源利用效率与美、日等发达国家的巨大差距，一直是世人关注的热点。

我国能源供需矛盾突出，能源利用率低。2007年中国一次能源生产总量为23.7亿吨标准煤，同比上升7.2%，是2001年13.74亿吨标准煤的1.7倍，期间年均增长9.5%；同期一次能源消费总量从14.32亿吨标准煤增加到26.5亿吨标准煤，年均增长10.8%。2007年供需缺口为2.8亿吨标准煤，比2006年上升9.4%。从2001年到2007年，虽然中国能源生产持续增长，但其增长速度小于能源消费的增长速度，因此能源缺口不断扩大。中国能源利用效率呈上升趋势，但仍较低。中国单位GDP能耗处于下降态势，由2001年的11.47吨标准煤/万美元降低到2007年8.06吨标准煤/万美元，年均下降率为5.7%。尤其是2004年以来下降更快，2004年至2007年4年间单位GDP能耗下降了3.89吨标准煤/万美元，年均下降率为12.3%。这表明近年来国家十分重视节能减排的工作，并取得了很大的成效。但与世界其他国家相比，中国的能源利用效率还比较低，2006年中国单位GDP能耗是世界平均水平的2.9倍，分别是美国和日本的3.7和5.4倍，是印度和巴西的1.4和3.3倍。

我国能源总量丰富，但人均能源消费量较低。2006年，中国一次能源消费总量约占世界的15.9%，仅次于美国，居世界第二位。2007年中国一次能源人均消

费量为1.99吨标准煤，是2001年的1.8倍。但与世界发达国家相比仍然比较低，2006年中国一次能源人均消费量是世界平均水平的79.1%，分别仅为美国、日本、德国的16.9%、32.2%和32.9%。从常规能源消费来看，2007年中国煤、石油和天然气的人均消费分别为1.92吨煤、0.28吨油和57.51立方米，分别是2001年的1.9倍、1.5倍和2.6倍。但与世界水平相比仍然比较低，2006年中国人均煤消费中量仅为美国的47.9%、德国的90.9%；人均石油消费量仅为世界平均水平的44.7%，不到一半，为美国的8.5%、日本的14.4%、德国的17.7%；人均天然气消费量仅为世界平均水平的10.1%，美国的2.1%、日本的6.7%、德国的4.2%。

还有，我国能源资源分布不均，经济重心偏东偏南，能源资源重心偏西偏北。我国的煤炭资源主要分布在华北、西北地区，主要集中在新疆、内蒙古、山西、陕西和贵州等省区，这5个省区共占全国总资源量的82.7%，而经济发达的华东和华南不到5%；水力资源主要分布在西南地区，石油、天然气资源则主要分布在东、中、西部地区和海域，而我国的能源消费却主要集中在东部的沿海经济发达地区。能源分布与消费的地区差异严重影响能源的合理配置和有效利用。

我国能源消费结构不合理性比较突出，煤炭在我国一次能源消费中的比例超过60%，远远超过28%的世界平均水平，石油消费量排全球第二，但在总能源消费中的比例仅为21%，低于世界平均水平15个百分点，低于印度7个百分点；天然气消费量仅占总体能源消费量的3%，而世界平均水平为23.7%。随着我国高耗能产业快速发展、煤炭为主的能源结构及能源利用效率低下等众多因素造成了我国环境受到严重污染，生态遭破坏的局面。目前，我国  $CO_2$  和  $SO_2$  排放量分别列居世界第一位和第二位，造成的经济损失占GDP的3%~7%。在不断推进的工业化和城市化进程中，能源与环境约束日益成为中国经济发展和社会进步的“瓶颈”。

针对我国目前严峻的节能形势，“十一五”规划中明确提出了2010年单位GDP能耗比“十五”期末降低20%左右、主要污染物排放总量减少10%的节能减排目标<sup>[2]</sup>，党的十七大也明确提出，加强能源资源节约，要完善有利于节约能源资源的政策，加快形成可持续发展的体制机制。2009年两会政府工作报告中在节能方面也明确提出要继续推进十大重点节能工程建设。这既突出体现了党中央以科学发展观统领经济社会发展全局、以节能引领节约型社会建设、把经济社会发展转入全面协调可持续发展轨道的战略意旨，也集中反映了国家对“十一五”时期控制能源消耗总量、提高能源利用效率和能源经济效益的综合要求。为了这一目标的实现以及理论研究的需要，必须重视对能源利用效率和统计测度方法研究。

## 1.2 文献综述

在国内外文献中，能源利用效率常有两种不同的定义：一种是传统方式，采

用单要素方式，即能源利用效率是能源强度的倒数，而能源强度被定义为单位产出或活动的能源消费量。能源强度的减少意味着能源利用效率的提高；另一种是采用多要素方式，考虑能源消耗与其它生产要素的共同作用，即 DEA 模型方法。魏楚、沈满洪<sup>[3]</sup>通过 DEA 方法定义了能源利用效率，即在全要素生产框架下，度量当前能源投入与最优化可实现的能源投入，综合考虑了对产出的影响，是一个相对更优的指标。B. W. Ang<sup>[4]</sup>利用 IDA (the Index Decomposition Analysis) 方法和 LIA (Laspeyres index approach) 方法得到了能源利用效率指标—基于对数平均的迪维西亚指数的 LMDI(the Logarithmic Mean Divisia index method)方法和基于算术平均的迪维西亚指数 AMDI (the arithmetic mean Divisia index methods) 方法以及 MFII ( the modified Fisher ideal index method) 和 FIIN(The Fisher ideal index number in economics)方法。到目前为止，这些方法不仅可以研究能源需求，而且可以研究与能源相关的废气排放问题。国际上许多工业化国家都采用这些指标，B. W. Ang 等在一系列的能源利用效率统计指标分析的论文中，对 LMDI 方法进行了系统研究，得到了许多值得借鉴的结果。Wood, R. Lenzen, M. 提出的“structural decomposition analysis” SDA 方法，也可以看作这种方法的特例。国内外众多学者利用多种因素分解法，对不同时段、不同国家或地区的能源强度进行了大量的研究。一些学者认为，各行业能源利用效率的提升是我国总体能源强度下降的主要原因。目前，对中国能源强度变化的研究，学术界的成果颇多。韩智勇、魏一鸣、范英<sup>[5]</sup>将能源强度变化分解为结构份额和效率份额，得出结论是在 1998~2000 年间我国能源效率下降的主要动力来自于各产业能源效率的提高。王玉潜<sup>[6]</sup>，吴巧生、成金华<sup>[7]</sup>，齐志新和陈文颖<sup>[8]</sup>，高振宇和王益<sup>[9]</sup>，余甫功<sup>[10]</sup>等人也通过各自的研究，得出产业内能源效率的提高是我国能源强度下降的主要因素的结论。还有些学者认为结构因素才是能源强度下降的主要原因。刘凤朝、潘雄峰、徐国良<sup>[11]</sup>，吴宗鑫、刘滨<sup>[12]</sup>史丹<sup>[13]</sup>等指出我国能源强度的下降是各行业能源使用效率提高和产业结构调整的共同结果，并且认为结构因素对能源强度的降低起决定性作用。

目前，一些研究者已经跳出了传统能源强度的框架，在一个新的框架内考察能源利用效率问题，即数据包络分析（DEA）方法，将能源作为多种投入要素中的一种，考虑到了投入要素替代在实现能源利用效率中的作用。DEA 方法对社会经济系统的多投入和多产出指标相对有效性评价是独具优势的。国内外基于 DEA 方法来测度能源绩效的文献比较多。代表性文献有：P. Zhou, B. W. Ang<sup>[15]</sup>归纳了关于 DEA 方法的几种线性规划模型，测度了在开放的经济条件下能源利用效率的状况。P. Zhou, B. W. Ang, K. L. Poh<sup>[16]</sup>建议在不同的环境下采用一种基于多因素混合方式的规模报酬可变的环境数据包络分析技术来进行能源与环境之间的研究。Mukherjee 也应用 DEA 方法分析了美国制造业<sup>[17]</sup>和印度制造业<sup>[18]</sup>

的能源利用效率。Kankana Mukherjee<sup>[19]</sup>在新兴经济背景下应用 DEA 方法测度了印度制造业的能源利用效率。Semih Önüt, Selin Soner<sup>[20]</sup>运用了 DEA 方法分析了土耳其 20 个中小企业中制造业各部门的能源利用效率。谭忠富、于超<sup>[21]</sup>运用 DEA 基本原理, 建立了中国能源消费结构效率模型, 认为调整和优化能源结构、加快技术进步、促进产业结构升级、加快新能源以及可再生资源的开发和利用, 是提高我国能源利用效率的有效途径。冯曹、程晞、吕浩<sup>[22]</sup>采用 DEA 分析法测算了我国省际能源利用的纯技术效率和规模效率, 给出了一种可供选择的效率度量方法。李力、韩丽媛<sup>[23]</sup>基于能源—经济—环境 DEA 分析法对我国工业发展效率进行了评价研究。还有, 郑畅<sup>[24]</sup>、张引娣等<sup>[25]</sup>, 孙立成等<sup>[26]</sup>、李世祥等<sup>[27]</sup>都运用 DEA 方法对我国能源利用绩效进行了分析, 他们都认为传统的计算方法过于简单, 对各个地区之间的差异不够敏感, 而利用数据包络分析 (DEA) 来分析地区能源利用效率更具有科学性, 并基于 DEA 方法建立了不同的能源效率评价模型。当然, 也有少数研究者运用 DEA 方法来度量中国能源利用效率的区域差异及其影响因素。如 Jin-Li Hu, Shih-Chuan Wang<sup>[28]</sup>基于 DEA 方法构建起了一个相对前沿的能源技术效率指标, 计算了中国 29 个省、市区 1995~2002 年的能源利用效率, 得到我国西部、中部、东部的能源利用效率呈“倒 U 型”。魏楚等<sup>[3]</sup>运用 DEA 方法计算了省际层面 1995~2004 年间的数据计算了各省能源利用效率, 整体上看, 全国能源利用效率变动趋势在这 10 年间符合“倒 U 型”, 大多省份能源利用效率符合“先上升, 再下降”的特征。吴琦、武春友<sup>[29]</sup>根据能源系统的特点, 运用 DEA 方法建立了能源效率评价模型, 对中国 30 个行政区域进行了实证研究。孙立武、周德群、李群<sup>[30]</sup>运用非径向 DEA 模型对我国区域环境绩效进行了评价, 并得出结论是在整体上中国大部分地区环境绩效静态技术效率水平均相对较低, 其中环境绩效的技术效率水平是导致环境绩效下降的主要因素, 而环境绩效技术进步则促进了环境绩效水平的提高。

然而, 从目前学者们采用 DEA 方法的研究结果看, 由于研究的视角不同, 选取的投入产出指标体系不同, 得出的能源利用效率评价结果差异较大, 并且现有文献通常采用常规 DEA 模型, 从而不能对有效的决策单元做进一步分析。为了弥补这一缺陷, 1993 年 An-desen 和 Petersen 提出了超效率 DEA 模型, 使有效决策单元之间也能进行效率高低的比较。目前越来越多的学者运用超效率 DEA 模型进行绩效评价。如邓庆彪<sup>[31]</sup>运用超效率 DEA 评价模型对中国寿险公司绩效进行了分析; 赵旭<sup>[32]</sup>采用了超效率 DEA 模型对上市公司投资价值进行了评价等。虽然越来越多的学者运用超效率 DEA 模型进行了不同领域的效率评价, 但是, 运用超效率 DEA 模型对我国能源利用效率进行评价的文献比较少, 目前具有代表性的文献只有: 杨杰、宋马林、叶小榕<sup>[33]</sup>运用超效率 DEA 方法, 通过对 2000~2007 年中国能源利

用状况的分析以及各省能源利用效率的测算，得出中国能源消费结构不合理、能源利用效率区域差异较大的结论；并且，在现有文献中，由于采用的投入、产出指标体系不尽相同，研究所得结论也存在差异。本文将在国内外已有研究的基础上，从以下几个方面进行改进：（1）将能源投入细分为石油与煤炭，以便考察能源消费结构对能源利用效率的影响；（2）将环境指标作为增加的产出指标，从而能够比较全面的考虑能源利用效率与经济增长以及环境之间的关系；（3）采用超效率DEA模型方法，以便进一步考虑在常规DEA方法有效时决策单元的效率，并探讨改进能源利用效率的途径和政策。

### 1.3 研究内容研究方法及全文框架

本文以1998~2007年的全国29个省区的面板数据为基础，选取具有代表性的四种投入及两种产出指标，运用常规DEA方法和超效率DEA方法，构建了省际能源利用效率的测算模型计算了这10年来各省的能源利用效率，然后通过分析比较各省的能源利用效率差异及不同地区之间的能源利用效率差异，得出结论并进一步探讨了我国能源利用效率的改进措施，提出了一些参考建议。

全文共分五章，具体各章内容如下：

第一章为绪论部分，简单概述了本文的选题背景和研究意义、系统考察了能源利用效率及 DEA 模型的研究现状、本文的研究内容和方法，并提出了论文创新点及主要框架，为本文的研究奠定基础。

第二章首先比较详细的给出了我国能源利用效率的定义，并且对我国能源利用现状进行了分析，然后进一步探讨了我国能源利用效率的影响因素以及对当前能源利用效率评价领域的几种常用方法进行了比较，分析各种方法的优劣，进而指出 DEA 模型在综合评价领域的应用优势。

第三章首先简单介绍了 DEA 模型的基本概念、分类、构建的原理以及构建过程，然后阐述了 DEA 模型评价的基本思路，评价指标的选取原则以及数据的选择和处理方法，为下一章进行实证研究打下了坚实的理论基础。

第四章为实证研究部分，对我国各地区、各省的能源利用效率进行了综合评价。本章首先以 1998~2007 年全国 29 个省的面板数据为基础，运用投入导向的 DEA 模型进行能源利用效率的综合评价，得出各个省的总效率得分，以及统计出技术有效的省份在效率前沿面上被参考的次数；接下来运用超效率 DEA 模型下的投入导向型得到各省超效率数值及排名，综合比较分析了我国各地区之间能源利用效率的差异，并分析产生这些差异的可能影响因素；最后根据松弛变量的估计值探讨了技术 DEA 无效的省份改进其能源利用效率的路径和政策。第五章总结了全文研究结论，并给出了改进我国区域能源利用效率的政策建议。

本文的重要创新点在于：

1. 近年来，由于国际油价的飞涨和国内高耗能工业的超常规发展，造成全国能源供需矛盾突出，提高能源利用效率迫在眉睫，我国政府和专家学者对此也极为关注，本文在选题方面紧扣热点。因而，本文在研究角度方面具有一定的创新性。

2. 本文在选取指标上做了两点改进：（1）将能源投入细分为石油与煤炭，以便考察能源消费结构对能源利用效率的影响；（2）将环境指标作为增加的产出指标，即本文选取了能够综合考虑能源、经济、环境之间的关系的能源利用效率指标，来分析地区的能源利用效率，更全面和科学。

3. 本文首次运用超效率 DEA 方法，在深入分析能源利用效率的影响因素的条件下，对我国能源利用效率进行了多投入多产出的综合评价。此种方法能够更进一步考虑在常规 DEA 方法有效时决策单元的效率，并且能够对各省份所得效率得分进行排序，对于排名靠后的省份我们还可以根据松弛变量的分布和数值大小，给出其能源利用效率的改进途径和政策。

## 第2章 能源利用效率的影响因素分析及测度方法比较

本章首先给出了能源利用效率的定义，以及我国能源利用效率的现状，接着分析了影响我国能源利用效率的各种因素，从而为我们选择合适的方法来评价能源利用效率奠定了基础。由于当前能源绩效评价的方法颇多，因此在进行方法的比较前，我们对主要研究分析方法进行了一个总的概述，并且详细说明了各种方法在绩效评价中的应用优、劣势。

### 2.1 能源利用效率的概念及指标概述

能源利用效率本身是一个一般化的术语，可以用多种数量上的指标进行测算。在衡量和评价一个国家(或地区)的能源利用效率水平，或者分析节能潜力时，人们通常会采用单位产值能耗、单位GDP能耗、单位产品能耗、单位服务量能耗、通用产品的能源利用效率等等指标。一般而言，能源利用效率是指用较少的能源生产同样数量的服务或者有用的产出，如某地区万元GDP能耗或者单位产值能耗越低，说明该地区的能源经济效率越高。能源利用效率是反映能源与经济发展关系最核心的指标，能源利用效率分为能源经济效率和能源技术效率，表现为能源的投入与产出之间的比例关系。能源经济效率主要是指经济发展水平、产业结构、价格水平、管理水平、对外开放以及经济体制等经济因素对能源利用效率的影响；能源技术效率主要指生产技术、产品生产工艺和技术设备所决定的效率对能源利用效率的影响。概言之，上述指标可归为两类：能源经济效率指标和能源技术效率指标。

#### 1. 能源经济效率指标

纯经济指标是根据投入能源的市场价值与产出的市场价值来进行测量的。国外常用能源强度(Energy Intensity)来表示，它包括前面提到的单位产值能耗、单位GDP能耗、单位产品能耗、单位服务量能耗等等指标。

$$\text{即 } e = \frac{E}{Y}$$

其中：E 表示能源消费总量(万吨标准煤)，Y表示国内生产总值(亿元人民币)。从中可以看出，能源经济效率是某项经济指标、实物量或服务量与所消耗的能源量的比值。在中国，多表述为：吨标准煤/万元GDP(国家/地区的宏观层面)，吨标准煤/单位产品(高耗能行业)，吨标准煤/单位采暖(或空调)面积(建筑物用能)。一般而言，能源强度越低，说明该国家(或地区)的能源经济效率越高。这一指标更多的被称为能源强度。

## 2. 能源技术效率指标

狭义的“能源技术效率”指“能源系统效率”，能源系统效率是指在使用能源的活动中所得到的有效能源量与实际输入的能源量之比，一般用百分率表示。能源系统的总效率一般由能源生产和中间环节效率(包括能源生产过程用能加工转换效率和贮运效率)和终端利用效率组成。也有人主张把能源开采的回收率包括在内，但是，能源开采效率的定义难以确定：一方面对资源开采中所占用资源总量的界定不清；另一方面各国的资源赋存条件不一样，采收率的高低除了与技术水平有关，还取决于资源的赋存条件。

世界能源委员会在1995年出版的《应用高技术提高能效》中，把能源利用效率定义为：减少提供同等能源服务的能源投入。这是能源利用效率的一般性概念。一般能源利用效率可采用以下等式：

$$\text{能源利用效率} = \frac{\text{某一生产过程的有用产出}}{\text{该生产过程的能源投入}}$$

一个国家的综合能源利用效率指标是增加单位GDP的能源需求，即单位产值能耗；部门能源利用效率指标分为经济指标和物理指标，前者为单位产值能耗，物理指标，工业部门为单位产品能耗，服务业和建筑物为单位面积能耗和人均能耗。根据上述定义，衡量能源利用效率的指标可分为经济能源利用效率和物理能源利用效率两类。经济能源利用效率指标又可分为单位产值能耗和能源成本效率(效益)；物理能源利用效率指标可分为物理能源利用效率(热效率)和单位产品或服务能耗。

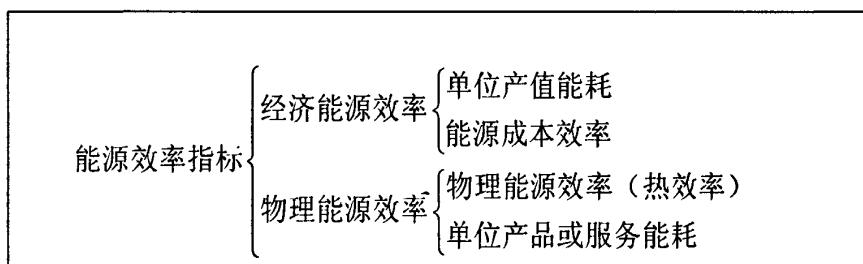


图 2.1 能源利用效率指标

## 2.2 我国能源利用效率的现状分析

进入21世纪，中国能源面临着5大严峻挑战：能源供应紧张；液体燃料短缺；环境污染严重；温室气体排放；农村和城镇清洁能源供应等，严重制约了我国的可持续发展。因此，正确认识中国能源消费状况，对于实现能源、经济和社会之间的协调发展，具有十分重要的意义。建国以来，中国的经济总量和能源消费都出现了较大幅度的增长。2004年国内生产总值比上年增长10.1%，能源消费比上年增长16.1%，2005年我国内生产总值比上年增长10.4%，而能源消费比上年只增长10.6%，2006、2007、2008年每年国内生产总值比上年增长的百分比分别是

11.6%、13%、9%，而这几年能源消费总量比上年增长的百分比分别是9.6%、7.8%、4%。可见，最近几年来我国GDP的增长速度不断加快，只有在去年增长速度渐缓，能源消费量的增长速度每年有所下降，并且GDP的增长速度大于能源消费量的增长速度，可见我国能源利用效率有所提高。

从能源消费结构来看，最近几年我国煤炭、石油、天然气、水电核电及风电在能源消费总量中所占的百分比如下表 2.1 所示。

表 2.1 我国 2003~2008 年能源消费总量构成分布表

所占比重 年份	煤炭	石油	天然气	水电、核电、风电
2003	68.4%	22.2%	2.6%	6.8%
2004	68.0%	22.3%	2.6%	7.1%
2005	69.1%	21.0%	2.8%	7.1%
2006	69.4%	20.4%	3.0%	7.2%
2007	69.5%	19.7%	3.5%	7.3%
2008	68.7%	18.7%	3.8%	8.9%

从上表可以看出：最近几年煤炭在能源消费中比重不断上升，从 2003 年的 68.4%上升到 2007 年的 69.5%及 2008 年的 68.7%，石油消费在能源消费总量中所占的比重不断减少，从 2003 年的 22.2%减少到 2008 年的 18.7%，其他能源如天然气的消费比重由 2.6%上升到 3.8%，水电、风电和核电比重由 6.8%提高到 8.9%。由以上数据可以了解到我国能源消费的结构性问题很突出，中国面临最大的挑战是以煤炭为主的能源结构，煤炭占了 69%左右，石油占 20%左右，而天然气、水电、核电、风电虽然所占比例有所上升，但只占极少的一部分。虽然近几年中国天然气产量每年增长 14.5%，是全球天然气产量增长最快的国家之一，但总量还是很少，提高天然气的比重势在必行。因此优化能源消费结构迫在眉睫，必须开发和利用面向未来的清洁能源。

从地区能源消费量来看，我国能源利用地区分布不均衡。最近几年我国的区域能源利用情况如下表 2.2 所示。

表 2.2 我国 1998~2007 年各区域能源利用情况

地区	均值 (万吨)	煤炭消费 (万吨)	石油消费 (万吨)	能源消费总量 (万吨标准煤)	工业废气 (亿标准立方米)	GDP (亿元)
东部	89594.47	27449.19	102429.7	115906.9	92317.54	
中部	79962.42	9130.25	63209.55	63989.4	38567.12	
西部	35658.14	5899.28	37727.85	34750.3	11612.38	
全国	205215.00	42478.72	203367.1	214646.6	142497.0	

从上表可以看到：这 10 年来，东部沿海地区发展最快，平均每年的 GDP 是 9.23 万亿元，远远超过了中部地区的 3.86 万亿元和西部地区的 1.16 万亿元，分

别约是中部、西部的 2.4 倍和 7.95 倍。而能源消费总量在各地区也呈现出与 GDP 相类似的情形。东部地区平均每年能源消费总量约是 10.24 万吨标准煤分别约是中部、西部的 1.62 倍和 2.71 倍，从能源消费总量的构成来看，煤炭和石油的消费量也存在一定的差距，煤炭平均每年消耗 8.96 亿吨，大大超过了中部的 7.99 亿吨和西部的 3.56 亿吨；而在石油消耗方面，东部地区平均每年 274 亿吨，分别是中部、西部地区的 3 倍和 4.65 倍。从能源消耗所带来的环境污染来看，东部地区平均每年废气排放约是 115906.9 亿标准立方米，分别是中部、西部地区的 1.8 倍和 3.3 倍。总体上我们得到：东部地区的 GDP 大大超过了中西部地区，从而伴随的煤炭、石油的消耗都是远远超过了中部和西部地区；同时，东部地区工业废气的排放量也排在了首位。可见，最近几年我国地区之间在经济增长、能源消耗和环境污染等方面协调发展的有待加强。因此，如何科学有效的发挥地区优势，促进各区域能源利用的均衡发展是当前亟需解决的问题。

## 2.3 能源利用效率的影响因素分析

影响能源利用效率的因素很多。改革开放以来，我国能源利用效率的提高非常明显，能源消费结构、产业结构、经济体制、对外贸易是影响能源利用效率的重要因素。宣能嘛<sup>[34]</sup>还提出，能源价格和能源政策、技术进步、管理水平也是影响能源利用效率的重要因素。

### 1. 能源消费结构

不同的能源具有不同的利用效率，不同的能源结构也会产生不同的能源组合效率。据有关专家分析，在一次能源品种中，我国煤炭的利用效率约为 27%，原油利用效率比煤炭高 23%，约达 50%；天然气利用效率比煤炭高 30%，约达 57%，电的利用效率约为 85%。依据此数据计算出我国能源组合利用效率为 36.8%，比世界各国平均利用效率 50% 低 10 多个百分点。以煤为主的能源结构是造成我国能源利用效率低下的主要原因。由于技术水平、设备以及煤炭质量的限制，中国的煤炭利用效率一直非常低下，而煤炭消费占总能源消费的高比例则进一步加剧煤炭利用效率对总能源利用效率的影响。我国能源利用效率低的根本原因在于中国的能源结构不合理。因此，致力于改善能源结构势在必行，注重能源结构的调整和优化升级、注重开发和利用面向未来的清洁能源和可再生资源，是提高我国能源利用效率的一项长期而又艰巨的任务。

### 2. 产业结构因素

产业结构变动对能源强度产生影响主要是各产业能源消耗密度不同，如果能源消耗密度高的产业在国民经济中占有较大的比重并且上升较快，能源消费强度就会因此而增加；而如果能源密度低的产业在国民经济中占有较大比重并且上升较快，能源消

费强度就会因此而降低。一般来说，第三产业能耗低，而第二产业特别是工业能耗较高。在我国产业结构进行调整时，能源消耗偏高，产出效率偏低，能源利用效率损失比较大，更加大了对能源的需求，从纵向比较来看，虽然产业结构调整是朝着能源消耗强度和污染强度更轻的方向发展，但是从目前整体来看，我国仍是高投入、高消耗、高污染的粗放型经济增长方式，由此决定了能源消耗强度还比较高。所以，提高能源利用效率、降低能源消耗，关键是降低工业能耗。由此可见，一个国家第一、第二和第三产业在产业结构中的比重直接影响着该国的能源利用效率。

据有关专家分析，产业结构的调整和变化对我国节能效果的贡献率约达70%。我国通过过去20年的节能实践也得出，由于产业结构调整和企业规模优化取得的积极成效，及由此带来的节能效果占全社会总节能量大概也在70%左右，这从实践层面证实了经济结构因素对能源经济效率的突出制约作用。

### 3. 经济体制因素

在市场经济条件，企业能够改善能源的配置效率，提高企业的整体效率，从而提高能源利用效率。经济学的理论告诉我们，完全竞争的前提条件下，市场机制能够使一个社会的生产资源实现最有效率的配置，因为在完全竞争的条件下，厂商只有把自己的效率提高到同行业中效率最高的水平才不会亏损而退出该行。这一淘汰存优的过程一直持续直到生存下来的厂商都达到了最高效率为止。

由于经济体制等方面的原因，我国能源利用效率较低是普遍存在的，有相当大的能源消费并不是生产所必需，从中造成了很大的浪费。能源利用效率的改进主要取决于人的行为，而人的行为是对环境的反应。随着我国经济体制改革的深入以及市场经济的逐步建立，企业经营者和职工有了一系列有关权利、责任和利益的规则以及有效的激励机制和约束机制。同时，激烈的市场竞争和价格的形成机制使企业关注能源投入与收益的关系，关注能源的配置与利用效率，关注技术的创新和新知识的学习，关注能源成本的节约和避免各种浪费现象的发生，能源利用效率低的问题因此有了较大的改进。所以，我国社会主义市场经济体制有利于我国能源利用效率的提高。

### 4. 对外贸易程度

商品的生产结构和贸易结构均直接影响着能源消耗强度。因此，如果出口商品中高耗能产品比重较高，则会降低国家整体能源利用效率；反之，如果进口产品具有较高的能源利用效率，则有助于提高国家能源利用效率。还有，特别是改革开放以来，我国对外贸易繁荣，跨国投资成为影响我国经济活动的一个重要因素，随着外资一起进入我国的还有西方国家先进的生产技术和管理水平。这是改革开放带来能源利用效率提高的重要原因。

### 5. 能源价格和能源政策因素

能源价格的上涨将会导致能源成本的大幅提高，从而导致产品成本的上升，因此能源消费者将会尽可能地提高能源利用效率来减少能源消耗，进而弥补产品

成本的上升。根据要素替代率递减规律，减少能源要素投入量就可以增加能源的边际产品，因此，在其他要素价格保持相对稳定的条件下，能源价格的上升会降低能源的消耗，从而降低能源强度。完全依靠市场机制和经济手段不能有效地驱逐能源行业落后的产品与生产能力，需要国家的宏观调控来提高能源利用效率。国家作为宏观调控的主体为遏制高耗能行业再度盲目扩张所制订的从严控制新建高耗能项目，严把钢铁、电解铝、铜冶炼、铁合金、电石、焦炭、水泥、煤炭、电力等行业新上高耗能项目投资关，严格执行投资项目的节能评估规定等规制能源的产业政策对于提高能源利用效率有积极作用。宏观经济理论中总需求函数告诉我们，提高税率将使总需求减少，从而总供给减少，继而减少能源消费量。高耗能高污染行业能源消费量的降低将促进整体能源利用效率的提高。

## 6. 技术进步和管理水平因素

技术进步和先进的管理水平也是影响能源利用效率的重要因素。改革开放以来，我国采取的是比较优势战略，各省主要通过引进外资（包括跨国企业在华投资建厂、进口发达国家的先进技术设备、技术转移和技术引进等）加快了物化性技术进步，从而提高了能源利用效率。我国管理水平还比较薄弱，如，我国与节能密切相关的统计、计量、考核制度不完善，信息化水平低，损失浪费严重。如燃烧工业锅炉、电动机的设计效率与国际先进水平差不多，但由于管理水平低，运行不合理，能源浪费严重，实际运行的效率只有65%左右。

## 2.4 能源利用效率测度方法的比较

由上面的阐述我们可以了解到影响能源利用效率的因素很多，那么选择一种好的方法来评价能源利用效率是当前亟需解决的问题。能源利用效率评价的方法颇多，在进行方法的比较之前，应对主要研究分析方法进行一个总的概述。国内外文献对能源利用效率的测度方法主要有：回归分析法、指数分解分析法、CGE方法、数据包络分析（DEA）方法。下面介绍这几种比较典型的绩效评价方法，并指出其优劣，进而指出 DEA 模型在能源绩效评价领域的应用优势。

### 2.4.1 回归分析法及其优劣

回归分析法及“回归”名称的由来归功于英国统计学家 F. Galton。F. Galton和他的学生在研究父母身高与其子女身高的遗传问题时发现，相对于一定身高的父母，子女的平均身高有朝向人类平均身高移动或回归的趋势，这就是回归的古典意义。而现代意义的回归是关于一个变量对一个或多个其他变量依存关系的研究，侧重于考察变量与变量之间的数量关系，并通过数学表达式将各种关系描述出来，进而确定一个或几个变量的变化对另一个特定变量的影响程度。在回归分析中根据研究变量的多少可以分为简单回归和多元回归。根据所建立的回归模型

形式，又可以分为线性回归和非线性回归。处理实际问题时，往往将非线性问题转化为线性问题来处理。

回归分析法是从大量观测的散点数据中寻找到能反映事物内部的一些统计规律，这种方法比较精确。回归模型是应用范围最广的模型之一，被广泛应用于多个学科的研究中，由于企业经济业务之间存在关联性，因此回归分析法被广泛应用于经济研究，如Zhi-Yong Han 等<sup>[36]</sup>、孙晋众、林健<sup>[37]</sup>。由于大多数文献集中在总体能源利用效率的研究，对不同能源的边际效率及能源之间的替换率很少有文献研究，该方法可以弥补以往的不足。鉴于数据中存在较多的噪声，可以首先用小波分析方法对数据进行滤波，然后用滤除了噪声的数据作为输入变量，用支持向量回归方法建模，预测我国能源利用效率的变化规律。

回归分析法也存在一些缺陷：回归模型在统计检验通过后，可以用解释变量去估计、预测被解释变量，进行预测分析，但不能进行政策分析。由于回归模型的假设之一是随机误差项  $u$  具有相同的方差，而回归分析法作为一种高级统计技术的复杂分析方法，在应用上很容易出现异方差和自相关，从而会导致模型的预测结果会有偏误。

#### 2.4.2 指数分解分析（IDA）法及其优劣

这种方法又包括Divisia index method 和 Laspeyres index method方法。B. W. Ang[4]利用IDA (the index decomposition analysis) 方法和LIA (Laspeyres index approach)方法得到了能源利用效率指标——基于对数平均的迪维西亚指数的LMDI(the Logarithmic Mean Divisia Index method)方法和基于算术平均的迪维西亚指数AMDI (The arithmetic mean Divisia index methods) 方法以及MFII (the modified Fisher ideal index method) 和FIIN (the Fisher ideal index number in economics ) 方法。指数分解分析是一种较为成熟、研究能源领域和环境领域相关问题的一种有效方法，它有助于抓住主要矛盾并将各因素的影响效应分离，从而为政策制定提供依据。到目前为止，这些方法不仅可以研究能源需求，而且可用于研究能源消费和气体排放变动等内在驱动因素的定量方法。国际上许多工业化国家都采用这些指标，尤其是LMDI方法。指数分解分析为研究能源强度的发展演变及作用机理提供了一个很好的理论框架。

尽管如此，关于该方法的理论和应用还存在一定的局限性。首先是关于指数分解分析方法的标准化问题，该方法需要考虑数据为0值和负值时不能取对数的问题，由于数据可获性的限制，分解大多只能在1位数和2位数编码的行业层次进行，研究结果也只能提供一个总体和模糊的政策改进方向，难以落实到具体的操作层面。其次，指数分解分析将能源强度变化归结为结构变动和效率改进两个方面因素的影响，对于发展中国家中国来说，经济增长模式的转变需要一个长期的过程，能源强度的变化很难单纯地以结构和技术来解释，则关于应用的标准化问题，如

果分解层次过粗，结构效应和技术效应还可能存在交叉。

### 2.4.3 CGE（Computable General Equilibrium model）方法及其优劣

可计算一般均衡模型（CGE, Computable General Equilibrium model），又称为应用一般均衡模型，是把瓦尔拉斯一般均衡的构造由一个抽象的形式变为一个关于现实经济的实际模型。CGE 模型进行的是一般均衡分析，它以一般均衡理论和投入产出原理为基础，通过线性方程与非线性方程的结合，反映多行为主体的关系。CGE 方法微观理论基础扎实，便于模型的扩展。CGE 模型在理论方面不断拓展，不仅融合了宏观经济和微观经济，而且逐步与现代经济理论，如不完全竞争理论、二元经济理论等紧密结合。由此可以针对具体政策问题，构建相应的特色 CGE 模型进行分析，这使得模型构建者更容易探究模型结果的可行性提供了便利。CGE 模型不仅考虑了多部门之间的联系，也考虑了各行为主体之间的联系。这种综合范围内各主体之间的行为最优化，使得 CGE 模型在政策分析上不仅仅考虑了直接政策效应，而且考虑了间接反馈效应，因此分析结果更详细全面。CGE 模型考虑了要素投入的丰富性，灵活选择函数形式，还有此模型融合了经济结构的特征，适合反映二元经济。CGE 模型通过动态化机制，实现中长期预测。正因为 CGE 模型有以上优点，在经济学的发展中具有很高的应用价值。CGE 方法广泛应用于国家贸易、政府财政政策，特别是税收政策的变化对经济系统的影响、环境保护以及污染的外部效应及经济发展政策的研究。然而 CGE 模型也存在一定的局限性。CGE 模型就是用一组具体方程来描述供给、需求以及供求关系，在这些方程组中不仅商品和生产要素的数量是变量，而且所有价格，包括商品价格、工资、资本利润率等都是变量，而且要在一系列优化条件下求解这一方程组，得到在各个市场都达到均衡时的一组价格和数量。它设计的方程与变量非常多，对 CGE 模型的求解一直是 CGE 模型研究的重点难点。CGE 模型可以进行事前、事后的分析，可以进行产业发展和整个社会福利变化的评估，但是模型复杂，依赖于投入产出表和 SAM 矩阵，数据要求高，需要与新贸易理论和具体国情进行紧密地联系。CGE 模型侧重于分析政策变量或者外部环境变化所产生的影响，为政策制定者了解其政策实施后的潜在结果，或在外部环境变化时帮助其选择恰当的政策，如（Dixon,P. B. <sup>[37]</sup>, Nick D.Hanley 等<sup>[38]</sup>运用该方法，根据投入产出原理，并利用计算机仿真进行能源利用效率的政策分析，但是该方法在能源利用效率的评价方面用的较少。

### 2.4.4 数据包络分析（DEA）方法及其应用优势

与前文中介绍的几种评价方法不同，DEA 评价模型是以相对效率概念为基础的，对具有多项投入指标和多项产出指标的复杂系统有很强的适用性。DEA 方法的基本思路是把每一个被评价单位作为一个决策单元，由众多决策单元构成被评价群体，通过

对投入和产出比率的综合分析，依决策单元的各个投入和产出指标的权重为变量进行评价运算，确定有效生产前沿，并根据各决策单元与有效生产前沿面的距离状况确定各决策单元是否DEA有效，同时还可以用投影方法指出非DEA有效或者弱DEA有效地决策单元的原因及应改进的方向和程度。该评价模型是一种线性规划方法，效率前沿是通过联接所有最佳方法观测点形成的分段曲线结合，得到一个凸性的生产可能性集合。最佳方法或前沿光测值的集合作为前沿将所有的观测值包含在其中，其效率值最高，其他决策单元及其线性组合在既定的情况下不能生产出更多的产出，换句话说，在产出既定的情况下，已经不能以更低的投入生产出既定的产出量。

DEA评价模型是一种非参数的客观评价方法，与其他评价方法相比主要有以下几个优点：

DEA评价方法不受计量单位的影响。多指标同时输入输出不需事先对各计量单位进行标准化处理，输入和输出指标既可以是绝对数又可以是比率，只要被评估的决策单元均使用相同的计量单位即可，可以同时评估不同环境下决策单元的效率。该方法与传统方法最大的不同是：无须事先给定输入、输出权向量，对于每个决策单元，都选取对此决策单元而言“最优”的一组权重，尽可能避免了“管理者”的主观影响，从而避免了确定权重的误差，使评级结果更具客观性，因而它是最有利于该决策单元的相对效率，而传统方法注重对整体(所有决策单元)的优化，因而是一种“平均优化”，难免会掩盖某些决策单元的个性特征。

(1) DEA方法可直接采用统计数据进行运算，而不像一般统计模型那样，需要对指标体系重新定义或需预先对指标进行相关分析，从而避免了建立评价指标体系以及确定某一投入指标对若干产出指标的贡献率等繁琐的智力劳动，使得评价方法更具有简明性和易操作性。

(2) 得出的效率除可以得到各省的总效率外，还可以测算出纯技术效率、规模效率、规模效率是递增还是递减等，对能源利用效率综合评价来说是比较全面的。对于非有效性决策单元，DEA不仅能指出有关指标的调整方向(增加或减少)，而且还能给出具体的调整值，以确保它们在作此调整后能达到相对有效，这是DEA区别于其他方法的显著特点。

(3) DEA的“有效前沿面”是一种内在生成的参照，是由有效决策单元组成，因为剔除了非有效决策单元，从而排除了由于统计误差等因素对有效前沿面的影响。

## 第3章 能源利用效率的 DEA 模型研究

DEA方法可以排除评价过程中的很多主观因素，因此它在社会、科技、经济、教育等不同领域具有广泛的应用价值。目前，DEA的应用范围已从原来的评价领域逐步扩展到预测、预警、和估计技术进步等领域。本章重点介绍了DEA模型的主要概念、基本原理以及DEA评价方法的基本思路、指标的选取和数据的处理等内容，为下一章进行实证研究奠定坚实的理论基础。

### 3.1 DEA 模型的基本概念及其分类

数据包络分析(Data Envelopment analysis, 简称DEA)是著名运筹学A. Charnes 和W.W.Cooper等学者于1978年开始创建的，是数学、运筹学、数理经济学和管理科学的一个新的交叉领域。DEA方法基于数学规划思想，通过建立线性规划模型比较决策单元之间的相对效率，对决策单元进行评价。评价的依据是决策单元的输入数据和输出数据。输入数据是决策单元在某种活动中需要耗费的资源，如投入的资金、劳动力、长房设备等；输出数据是指输入经过一定生产过程所转化为决策单元某些产出成果的信息量，如产出的数量、质量、获得的利润等。

该方法近年来被广泛应用到技术和生产力进步、技术创新、关于成本收益利润问题、资源配置、金融投资、非生产性等各个领域，进行有效性分析，从而进行评价决策。1988年中国人民大学的魏权龄老师将其第一次引入到我国理论界。此后，相关的研究不断涌现，应用研究成果更是层出不穷。随着DEA理论的不断深入，应用领域也日益广泛，从学校、医院、森林资源、环境保护、军工生产能、农业、工业以及银行、研究院所、政府活动和宏观经济分析等各个以盈利为目的或非盈利的机构的评价活动。

DEA模型的核心概念有如下五个：

(1) 决策单元。一个经济系统或一个生产过程可以看成是一个单元在一定的可能范围内，通过投入一定数量生产要素并生产一定数量的产品的活动，虽然这种活动的具体内容各不相同，但其目的都是尽可能的使这一活动取得最大的“效益”。由于产出是决策的结果，所以这样的单元被称为决策单元DMU。DEA的评价对象，可以是企业、银行、政府部门、学校等具有投入和产出要素的实体。在DEA评价中，相同类型的组织或者单位，都可以作为一组决策单元。一般而言，在DEA评价中，对于DMU有以下三种特征要求：①相同的目标和任务；②相同的外部环境；③相同类型的输入和输出指标。

(2) 生产可能集。生产可能集是用来描述在当前的技术水平下，所有可行的

投入产出向量的集合。设某个DMU在一项经济活动中的输入向量为  $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)^T$ , 输出向量为  $y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_s)^T$ , 于是可以简单地用  $(x, y)$  来表示这个DMU的整个生产活动。我们定义集合  $T = \{(x, y) | x \text{ 可以产出 } y\}$  为所有可能的生产活动构成的生产可能集。和生产可能集相关的是投入可能集和产出可能集。投入可能集  $L(Y) = \{X | (x, y) \in T\}$  表示生产  $y$  的所有投入向量的集合; 产出可能集  $P(X) = \{Y | (x, y) \in T\}$  表示投入  $X$  生产的所有产出向量的集合。

(3) 生产前沿面。生产前沿面描述在当前技术水平下有效地投入产出向量, 即给定投入和其他产出不变时一种产出的最大值, 或给定产出和其他投入不变时一种投入的最小值, 即技术有效的投入产出的向量集合。在DEA中, 生产前沿面是指观察到的DMU的输入数据和输出数据包络里面的有效部分。

(4) 有效生产活动。设  $(x, y) \in T$ , 如果不存在  $(x, y') \in T$ , 且  $y \leq y'$  则称  $(x, y)$  为有效生产活动, 表示不存在任何投入不变且产出增加的情况。有效生产活动具有规模有效和技术有效两个层面的意义。规模有效是指现有的生产规模下的最优生产状态; 技术有效是指现有技术水平和生产规模下, 综合投入产出之比达到最优的状态。

(5) DEA有效。DEA效率是以DEA方法得到的DMU的效率测量, 代表着DMU与生产前沿面的距离。DEA有效是指DMU的投入与产出比值的投影值位于生产前沿面上。

在国内外文献中, 有许多不同的DEA效率测度模型, 主要有: (1)径向效率模型 采用按同样的比例调整投入或产出, 是一类最常见的DEA模型; (2)非径向效率模型 采用按不同的比例调整投入或产出, 在比较决策单元的效率时, 比径向效率模型有更好的区分力; (3)松弛变量模型 该方法通过构造投入与产出的松弛变量, 能够对经济非有效的单元进行数量分析, 有较高的区分力; (4)双曲线模型(图形测度) 考虑同时以同等程度, 如果既考虑期望产出又考虑非期望产出, 该方法是非常有效的; (5)方向距离函数模型 该方法基于一个给定的方向向量, 使得沿着该方向改进决策单元的绩效, 可以同时扩大期望产出和减少投入(或减少非期望产出)胡鞍钢<sup>[39]</sup>。

### 3.2 DEA 模型的基本原理

DEA的计算过程可以简单图示为:

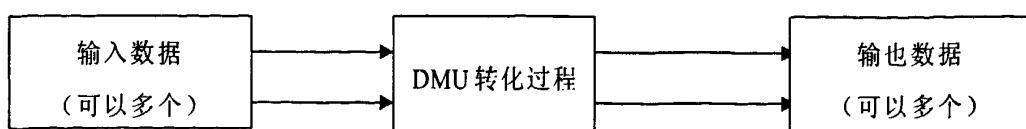


图 3.1 DEA 模型原理图

其优点主要为：1) 不受计量单位影响多指标同时输入输出不需事先对各计量单位进行标准化处理输入和输出指标，既可以是绝对数，又可以是比率，只要被评估的决策单元均使用相同的计量单位即可；2) 无需事先给定输入输出指标的权向量，该权重由数学规划产生，无人为的主观成分，是从最有利于决策单元的角度出发的；3) 对于非有效决策单元，不仅能指出有关指标的调整方向，还能给出具体的调整值；4) 有效前沿面是一种内在生成的参照，是由有效决策单元组成，因为剔除了非有效决策单元，从而排除了由于统计误差等因素对有效前沿面的影响。

### 3.2.1 CCR 模型与 BCC 模型的导入

CCR 模型与 BCC 模型是 DEA 的两种常规模型。CCR 模型最初由 Charnes, Cooper 和 E.Rhodes<sup>[40]</sup> 提出的，是最早的 DEA 模型。模型线性规划具体如下：

设  $n$  个决策单元  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) 的输入向量记为  $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$ ，输出向量记为  $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T$ ，这里的  $x_{ij}$  为第  $j$  个决策单元的第  $i$  种类型的输入的投入总量， $y_{rj}$  为第  $j$  个决策单元的第  $r$  种类型的输出的产出总量。其中  $(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; r = 1, 2, \dots, s)$ 。其中， $m$  和  $s$  分别表示输入和输出指标的个数。输入与输出指标的选择标准是：“输入指标应包括所有的对产出有影响的因素，输出指标应反映所有生产所能达到的有用结果”。但是“选择输入输出数据时应尽可能将可完全替代的因素或可完全互补的因素归入同类也即应尽可能减少不同因素之间替代或互补关系的存在”。 $u = (u_1, u_2, \dots, u_s)^T$ ,  $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T$  分别是输入输出的权重向量。所有的权重均由各 DMU 组成的评价群体来决定，而非人为确定。由此可得  $DMU_j$  的效率评价指数：

$$h_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

其中  $u = (u_1, u_2, \dots, u_s)^T$ ,  $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T$  是权重向量，总可以找到适当的  $u$  和  $v$ ，使  $h_j$  满足： $h_j \leq 1, j = 1, 2, \dots, n$ 。

可见  $h_j$  是  $DMU_j$  的产出指标加权之和与投入指标加权之和的比率，取值范围在 0-1 之间。由此，第  $j_0$  个 DMU ( $DMU_{j_0}$ ) 的相对有效性评价模型为：

$$(CCR) \left\{ \begin{array}{l} \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \\ s.t. \frac{\sum_{i=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \\ j = 1, 2, \dots, n \\ v = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T \geq 0 \\ u = (u_1, u_2, \dots, u_s)^T \geq 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

*CCR*模型是以全部DMU的集合为基础来评价  $DMU_j$  有效性的。 $DMU_j$  是否有效是相对所有其它DMU而言的。

1985年, Banker , Charnes 和Cooper 修改了早先的DEA 模型, 提出了一种基于可变规模报酬(VRS) 的模型(BCC 模型)。基于DMU的凸性和无效性, 我们可以得到如下规模报酬可变条件下的有效边界的线性规划模型, 如果所要求的是保持产出不变的情况下使投入即  $x_{ij}$  最小化, 也可称为投入导向模式(Input orientation )的BCC模型, 即考虑如下的线性规划模型:

$$\theta^* = \min \theta$$

$$\text{s.t. } \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{i,j_0}, i = 1, 2, 3, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{r,j_0}, r = 1, 2, 3, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n \end{array} \right. \quad (2)$$

这里决策变量是  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  和  $\theta$ 。  $x_{i,j_0}$  和  $y_{r,j_0}$  分别表示第  $j_0$ 个DMU(即  $DMU_{j_0}$ )的第  $i$  项输入和第  $r$ 项输出。在最优解处对那些非紧的约束可以得到如下的松驰变量 (slacks)  $s_i^-$  和  $s_r^+$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} s_i^- = \theta^* x_{i,j_0} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \\ s_r^+ = \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - y_{r,j_0}, r = 1, 2, \dots, s \end{array} \right.$$

于是线性规划模型 (2) 可以进一步演变为如下形式:

$$\min \theta - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

$$\begin{aligned}
 & \text{s.t.} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{i,j_0}, i=1,2,3,\dots,m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r,j_0}, r=1,2,3,\dots,s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, j=1,2,3,\dots,n \end{array} \right. \quad (3)
 \end{aligned}$$

$\varepsilon$  为非阿基米德无穷小量 在计算中取正的无穷小如  $\varepsilon=10^{-8}$ 。

同理, 如果所要求的是使投入不变情况下的产出最大化产出导向模式 (Output orientation) 可得如下线性规划模型 (4) :

$$\begin{aligned}
 & \max \Phi - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\
 & \text{s.t.} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{i,j_0}, i=1,2,3,\dots,m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = \Phi y_{r,j_0}, r=1,2,3,\dots,s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, j=1,2,3,\dots,n \end{array} \right. \quad (4)
 \end{aligned}$$

模型 (3) 与模型 (4) 的结果并无本质的出入, 如果将模型 (3) 中的  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$

去掉, 就可以得到在规模报酬不变 (CRS: Constant return to scale) 条件下的线性规划模型也即 CCR 模型:

$$\begin{aligned}
 & \min \theta - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\
 & \text{s.t.} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{i,j_0}, i=1,2,3,\dots,m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r,j_0}, r=1,2,3,\dots,s \\ \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, j=1,2,3,\dots,n \end{array} \right. \quad (5)
 \end{aligned}$$

此两个模型的区别在于对规模报酬假设不同, BCC 模型是以可变规模报酬 (VRS) 为条件的, 而 CCR 模型则是以不变规模报酬为条件的。因为投入变量具有可控性, 所以本文的计算和分析都是从模型 (5) 出发的。

### 3.2.2 超效率 DEA 模型的导入

DEA模型的研究和应用主要集中在对投入、产出指标的选择及其相对效率的评价排名上，对于多个同时有效的决策单元（即效率评价值为1），则无法做出进一步的评价与比较。为了弥补这一缺陷，An-dersen和Petersen(1993年)提出了一种DEA的“超效率”(Super—Efficiency)模型，使有效决策单元之间也能比较效率的高低，能够对DEA有效单元进行排序。这个模型的基本思路是：在评估决策单元时，将该决策单元本身排除在决策单元的集合之外。在这里，我们可以在下图3.2的基础上说明这一思路。

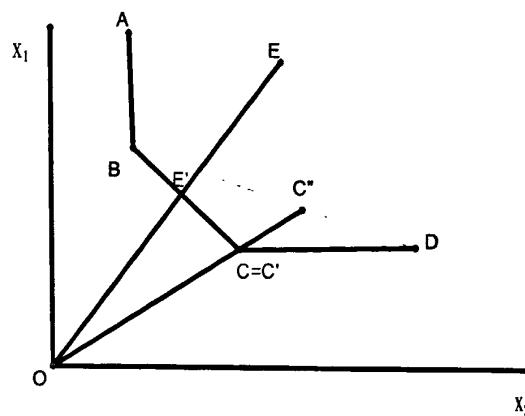


图 3.2 超效率示意图

为说明这一思路，假设有A、B、C、D、E等5个决策单元其中A、B、C、D是有效率的决策单元，其构成生产前沿面ABCD；E是无效率的决策单元，它被生产前沿面ABCD所包络。设E'和C'是OE与OC在生产前沿面ABCD上的交点，我们有决策单元E的效率值为：

$$TEE = OE' / OE < 1$$

而处在生产前沿面ABCD上的决策单元C的效率值为：

$$TEC = OC' / OC = 1$$

可以看出，无效率决策单元的效率值小于1，有效率决策单元的效率值等于1。C点处在生产前沿面上，DEA的CCR模型下的效率值为1。按照超效率模型的思路，在计算决策单元C的内在价值有效性值时，C点应排除在决策单元的参考集之外，于是生产前沿面就由ABCD变成了ABD(图3.2所示)，此时C点的效率值为 $TEC = OC'' / OC > 1$ 。对于CCR模型中本来无效率的决策单元E，在超效率模型中其生产前沿面仍然是ABCD，效率值与CCR模型计算出来的值一致，仍然是 $TEE = OE' / OE < 1$ ，我们将这一思想反映在模型上就是以下的超效率线性规划模型（6）：超效率评价模型与DEA模型的数据形式相似，其形式如下：

$$\begin{aligned}
 & \min \quad \theta - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\
 \text{s.t. } & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{ik}, i = 1, 2, 3, \dots, m \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rk}, r = 1, 2, 3, \dots, s \\ \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n \end{array} \right. \quad (6)
 \end{aligned}$$

模型(5)与模型(6)的区别主要在于模型(6)的生产可能集(即约束条件)没有包括被评价单元 $j_0$ ,也就是说:模型(6)在评价 $DMU_{j_0}$ 时,将其与样本中其他所有DMU的线性组合做比较,而不包括 $DMU_{j_0}$ 本身。结果是有效的 $DMU$ 有可能按比例增加其投入,而仍保持其相对有效性。在超效率DEA模型中,将某个 $DMU$ 能增加其投入而仍保持相对有效性的最大比例值,称为该的“超效率”,并用此来区分原来均为相对有效的单元的效率,显然该效率值可能大于1。在超效率模型中,对于无效的决策单元,其效率值与CCR模型一致,而在超效率模型中,而对于有效率的决策单元,例如某省能源利用效率值为1.35,则表示该省即使再等比例地增加35%地投入,它在整个样本集中仍然保持相对有效(即效率值仍能维持在1以上)。超级有效性分值表示在保持决策单元继续有效的前提下,可以变化的最大半径。如果决策单元的分值比较大,就意味着决策单元分别各自在任意大的输入增长或输出减少情况下,能够继续保持DEA有效。

### 3.2.3 经济含义分析

首先,从企业改进经营效率的角度来说明。在(3)也即VRS条件下,

(1) 当 $\theta^*=1$ 并且同时有 $s_i^-=0$ , $s_r^+=0$ 时表示决策单元 $DMU$ 为DEA有效,此时决策单元 $DMU_{j_0}$ 技术效率最佳,说明在不减少产量的情况下,既无法等比例地减少各种投入,也不能个别减少某种投入或产出。

(2) 当 $\theta^*=1$ ,并且同时有 $s_i^- \neq 0$ 或者 $s_r^+ \neq 0$ 时,决策单元 $DMU_{j_0}$ 为弱有效,即在,即在这n个决策单元组成的经济系统中对于投入 $x_0$ 可减少 $s^-$ 而保持原产出 $y_0$ 不变。或在投入 $x_0$ 不变的情况下可将产出提高 $s^+$ ,说明某些投入量已处在最小状态,所有投入量不能按统一比例减少,但仍有可能对投入或产出进行结构调整。这时生产规模是适当的,但存在结构问题。

(3) 当 $\theta^*<1$ 时, $s_i^- \neq 0$ 或者 $s_r^+ \neq 0$ 或者 $s_i^- \neq 0$ , $s_r^+ \neq 0$ 、决策单元 $DMU_{j_0}$ 为非DEA有效。

其中,当 $\theta^*<1$ ,表示实际投入可以依 $\theta^*$ 的比例压缩; $s_i^- \neq 0$ 表示在相同的产出条件下投入过多, $s_r^+ \neq 0$ 表示在相同的投入条件下产出过少,均应该按相应的数

据予以改进才能达到DEA有效。

$$(4) \begin{cases} \hat{x}_0 = \theta^* x_0 - s^- \\ \hat{y}_0 = y_0 + s^+ \end{cases}, \text{ 则称 } (\hat{x}_0, \hat{y}_0) \text{ 为 DMU 对应的 } (x_0, y_0) \text{ 在 DEA 相对有效}$$

上的“投影”。据此我们可以找到DMU改善投入产出效率的途径。新决策单元 $(\hat{x}_0, \hat{y}_0)$ 相对于原来n个决策单元技术有效。

在模型(5)也即CRS条件下，除(3)的结论外，企业还应该依据 $\sum_{j=1}^n \lambda_j$ 的值改善经营规模， $\sum_{j=1}^n \lambda_j > 1$ 时缩小生产规模； $\sum_{j=1}^n \lambda_j < 1$ 时扩大规模；当 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 时，规模效益不变。

其次，从投资者选择投资对象角度进行说明。投资者应注意备选投资对象的技术效率 $\theta^*=1$ 是否成立，以及 $s_i^- = 0, s_r^+ = 0$ 的条件是否满足，同时还应关注 $\sum_{j=1}^n \lambda_j$ 取值情况以及企业改革发展动态是否沿此理论方向。对技术效率值为1的数目较多时，应选择被参考次数最多的决策单元为最优投资对象或者运用超效率DEA模型，将有效决策单元进行排序，选取排名靠前的决策单元作为最优的投资对象。

### 3.3 DEA评价方法的基本思路

使用DEA方法时，首先确定评价目的，然后选择参与评价的DMU，之后确立输入和输出的指标体系，根据条件建立最优的DEA模型，最后根据评价目标对模型求解并讨论最优化条件。

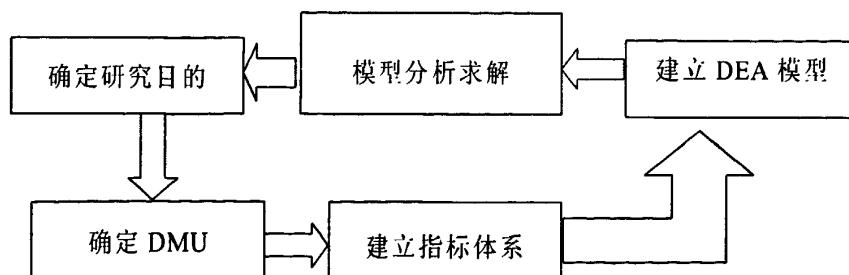


图 3.3 DEA 方法流程图

1. 确立研究目的。确定研究目的是研究展开的第一步。效率的DEA评价，其根本目的在于通过评价促进公司的竞争与发展，给决策者提供政策建议。

2. 确定DMU。选择DMU时应注意以下三点要求：由于DEA方法是在同类型的DMU之间进行相对有效性的评价，因此一个基本的要求就是DMU的同类型。

所谓同类型的DMU需具有以下三个特征：1)它们具有相同的目标和任务；2)它们具有相同的外部环境；3)它们具有相同的输入和输出指标。因此DMU的选择应具有相同的目标和任务、相同的投入和产出指标、处于大致相同的外部环境。在实际计算时，如果所选取的DMU不满足这一要求，计算结果会产生很大的误差。其次，DMU的差异性。原始DMU的数据之间应是非线性的。在技术上，为了具有可比性，DEA方法要求在选择决策单元时，需包含一些先进的单元，以利于找出差距，进行相应的改进。再次，DMU数量的适当性。参与评价的DMU数量并不是越多越好，DEA方法要求决策单元数量以处于输入 / 输出指标总数的2倍到3倍之间为宜。

3. 选择输入、输出指标。指标的选择是影响DEA计算结果的关键环节，然而在具体应用中，输入 / 输出指标的选取带有很强任意性与主观性，用不准确的指标体系来评价系统必然导致评价结果偏离实际；另外DEA方法对输入 / 输出指标数量的限制，给指标选择工作带来困难：若指标选得过多过细，容易造成大量有效DMU产生，若指标过粗过少，则不利于发现系统中问题所在，无法为管理者提供充分的决策信息。因此，如何客观地、有针对性地选取输入 / 输出指标是DEA方法推广应用前急待解决的问题之一。因此笔者在选择其他学者观点的基础上提出指标选择时应注意的几点注意事项：第一，能够全面反映评价目的。也就是说输入向量与输出向量的选择要服务、服从于我们确定的评价目的，能够有效实现评价设计，将对评价结果具有较大影响的指标囊括其中。第二，指标数量应精而简。由于指标数量和DMU数量有一定限制，因此，在选择投入产出指标时，应结合DMU的数量控制指标数量，选择能够反映评价目的或者能够观察到那些指标对DMU有效性有显著影响的代表性指标。再次，指标之间的关联性。投入指标与产出指标之间应具有逻辑相关而非数值相关的关系。所选择的投入指标与投入指标、产出指标与产出指标之间不应具有强线性关系。在实际应用过程中，可在评价目标的指导下先搜集一组全面性的指标，设计多个输入 / 输出指标体系，在对每个指标体系进行DEA分析后，将分析结果放在一起进行比较分析，再根据实际情况对指标进行精简筛选。

4. 建立最优化的DEA模型。已被学者证明的DEA模型有十几种。这些模型具有不同的约束条件，适用于不同的领域。由于DEA模型是一个对偶问题，每一种模型又具有投入型和产出型两种类型，因此，面对丰富多样的DEA模型，在解决实际问题时需要加以甄别和选择。首先，应根据评价目的进行选择。不同的模型，效率评价的意义有所不同。以前述最常用的几种DEA模型为例，CCR(CRS)模型评价的是没有区分规模效率情况下的技术有效，用于一般性的效率评价；BBC模型是测量规模收益不变时的技术有效；FG模型和ST模型分别测量规模收益递减和递增情况下的技术有效。可见，不同的DEA模型反映的效率意义并不相同，评

价者需要根据评价对象的特点、评价目的和所控条件进行选择。其次，根据指标特点进行选择。每种DEA模型具有投入型和产出型两种形式，在选择模型时要根据输入和输出指标的特性选择相应的类型。一般而言，如果输出指标的变动较大或评价者希望以输出指标反映评价对象之间的效率差异，多选用产出型模型；如果输入指标的变动较大或评价者希望以输入指标反映评价对象之间的效率差异，多选用投入型较为合适。再次，根据DMU的特性进行选择。在DEA评价中，DMU的特性决定了模型约束条件的变化。具有特殊限制、偏好等特性的DMU，在模型的约束条件中应予以体现。例如，当DMU的数量由有限多个扩展到无穷多时，应采用半无限规划的DEA模型CCW模型，这种模型适用于评价DMU的技术进步速度或技术进步的相对超前和滞后年限。

5. 对模型分析、求解，讨论最优化条件。通过对DEA模型的求解，可以获得的信息包括：DMU的DEA效率得分；有效生产前沿面；DMU在有效生产前沿面的投影值；可改进的松弛变量值。评价者可以进一步对以上信息展开讨论，分析影响DMU的DEA效率的投入和产出指标的关系、原因以及效率改善的措施或建议等等。

### 3.4 DEA 模型指标的选取

评价指标在整个绩效评价系统中处于基础和核心地位，评价指标的选择和确定关系到整个绩效评价活动的成败。在整个评价活动中，为了得到相对客观公正的结论，评价标准和评价方法的选择也都是围绕评价指标来进行的。所以，在企业绩效或者能效评价系统中，评价主体针对确定的评价客体和明确的评价目标，关键是如何设定评价指标，以便准确的传递出评价主体的评价目标，评价指标的选择直接影响到评价主体评价目标的实现。

#### 1. 指标选取的原则

DEA是个多投入多产出的评价模型，投入指标和产出指标的选取对评价结果是否科学是至关重要的。指标的选择遵循以下的原则：（1）综合性原则。整个指标体系应全面考虑到影响我国各省能源利用效率的具体因素，如能源消费结构、环境因素、经济结构和经济体制、技术进步等。（2）可比性原则。入选指标体系的每一个指标，其计算口径、核算内容、计算时间、计量单位等等都应保持一致。（3）真实性原则。所设计的指标体系要确实能反映各省能源利用效率的综合状况。指标的选取应保持实事求是的态度。尽量消除个人对指标的主观偏好，选取一个客观公正的指标体系。（4）简洁性原则。在充分反映情况的前提下，选取的指标的数量应尽量减少。如果将所有指标都纳入评价体系，则指标的选取就失去了原本的意义。简洁的指标体系既可以避免混乱，使人便于理清头绪、抓住关键，同时可以大大减少工作量，便于计算分析。（5）可操作原则。选取的指标

应当能够获取相应的数据资料、任何一个指标体系，即使设计的再完美，如果收集不到相应的数据资料，对于最终评价来说也是毫无意义的。

## 2. 确立指标体系的程序

DEA方法对指标数量的严格限制，使得评价工作中往往要对详尽具体的指标体系进行简化。由于DEA方法对指标数量比较敏感，用不同数量的指标体系计算出来的有效值会有很大不同。因此，可以把用不同指标体系计算出来的有效值的相关程度作为判断指标体系是否正确、全面的一个准则：已知指标集一正确、全面，现选取另一种指标集(指标集二)对系统进行评价，如果两种指标集计算出来的决策单元有效值存在显著相关性，则不能认为指标集二不全面或不正确，反之若两组有效值相关性不显著，则可以认为指标集二是不全面或不正确的。

对于一些比较复杂、不容易确定输入 / 输出指标体系的系统，可以综合应用以上五个基本原则，逐步确定所需指标体系，具体步骤如下：

首先，结合系统评价目的，确定细化指标集，即通过对系统目标的分解，根据目的性准则，寻找能够全面反映各分解子目标的对应指标。

第二，分别对细化指标集的输入输出指标进行相关性分析，去掉相关性显著的指标，对细化指标集进行简化。

第三，利用细化指标体系，运行DEA评价模型，计算决策单元的有效值。

第四，利用简化后的指标集，运行DEA评价模型，计算决策单元的有效值。

第五，检验分别由简化后指标集和细化指标集计算所得有效值的相关性，若两组数据不存在显著相关性，则说明简要指标集未能全面反映评价系统，此时需要重复第二个步骤，重新进行指标取舍；否则，可认为已找到符合条件的指标体系。

评价指标体系的设置一方面本着全面反映客观事实的原则，另一方面也要同评价方法结合起来。运用DEA方法，在全要素生产率框架下定义的能源利用效率指标在计算过程中不仅要考虑实际生产过程中的能源投入，还应考虑其他生产要素，如劳动型投入和资本型投入，以弥补传统能源生产率只考虑能源单一要素的缺陷。基于以上考虑，拟选取的投入指标有以下四个：（1）资本存量；（2）劳动力；（3）目前我国能源利用的结构性问题比较突出，煤炭、石油占了很大比重，其他能源比重相对较小。所以选取煤炭和石油的消耗量作为投入指标，以便考察能源消费结构对能源效率的影响。产出指标既应反映我国经济发展水平和综合实力的产出水平，又要考虑到经济高速增长所带来的高能耗，也伴随着严重的环境污染。因此拟选取的产出指标为：（1）GDP；（2）工业废气排放总量。工业废气排放量作为能源利用对环境所带来的负面影响的指标，是大家不希望得到的产出。之所以选取工业废气排放量作为产出指标是因为工业废气的排放是造成环境污染的主要原因，而低碳经济目前已成为炙手可热的一个名词，低碳经济是指以低能

耗、低排放、低污染为基础的生态经济模式，是我国经济发展的必由之路。目前，我国  $CO_2$  和  $SO_2$  排放量分别列居世界第一位和第二位，造成的经济损失占GDP的3%~7%。减少废气的排放、减少污染是促进当前经济向低碳经济、绿色经济转型的关键。因此，选取工业废气排放量作为衡量能量能源利用效率对环境影响程度的指标是比较合理的。

为了进一步了解经济增长与能源消费量之间的关系，根据全要素生产框架，综合考虑我国能源消费结构的特点以及经济发展与环境变化之间的关系，我们拟选取的投入指标为资本存量(X1)、劳动力(X2)、煤炭消费(X3)与石油消费量(X4)，拟选取的产出指标为GDP(Y1)、工业废气排放量(Y2)，为了更全面更精确的选取具有较大影响的指标，我们考虑这些指标之间的相关性，通过Eviews3.1，可以得到在这10年来投入指标(资本存量X1、劳动力X2、煤炭X3、石油X4)与产出指标GDP(Y1)、工业废气排放之间(Y2)的相关系数矩阵如下面表3.1.

表 3.1 四投入两产出的相关系数表

	Y1	Y2	X1	X2	X3	X4
Y1	1.000000	0.727776	0.983968	0.705775	0.534429	0.774150
Y2	0.727776	1.000000	0.743247	0.652275	0.879010	0.829839
X1	0.983968	0.743247	1.000000	0.691677	0.541891	0.717236
X2	0.705775	0.652275	0.691677	1.000000	0.571605	0.280003
X3	0.534429	0.879010	0.541891	0.571605	1.000000	0.320332
X4	0.774150	0.829839	0.717236	0.280003	0.320332	1.000000

从上表 3.1 可以看出：投入指标中的资本存量、劳动力、石油消费与 GDP 之间的相关系数分别是 0.984、0.7058、0.774 ( $p<0.005$ ) 具有较高的相关性，但是煤炭消费与 GDP 之间的相关性系数是 0.534>0.5，不是很高；增加了产出指标 Y2 后，投入指标与产出指标之间的相关性增强，特别是产出指标 Y2 与投入指标 X3、X4 之间的相关系数分别是 0.879、0.829，具有较强的相关性；并且投入指标之间的相关性非常弱，如 X4 与 X2、X3 之间相关性只有 0.3 左右，X1 与 X2、X3、X4 的相关性也不强；产出指标与产出指标之间的相关性也不高，在 0.7 左右。从表 3.1 的数据可以说明选用这些指标所构造的指标体系是比较理想的，因为它符合指标选取的原则（投入与产出之间的相关性较强，投入指标之间、产出指标之间的相关性较低），能够比较全面的反映评价目的。因此本文选取表 3.1 中的指标构造基于能源—经济—环境的四种投入两种产出的 CCR 模型和超效率 DEA 模型对我国区域能源利用效率进行比较研究和综合评价。

### 3.5 数据的来源与处理

本文的样本数据来自全国29个省的面板数据，数据从1998~2007年，根据我国区域划分的标准，由于西藏缺乏能源数据，因此不包括在样本内，为了保持口径统一，将重庆市的数据合并到四川省，所以将全国29个省分成三个区域，东部地区包括：北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南、广西；中部地区包括：山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南、内蒙古；西部地区包括：四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。

资本存量的估算方法一般是“永续盘存法”，计算公式为： $K_{it} = K_{i,t-1}(1-\delta_{it}) + I_{it}$ ，其中  $K_{it}$  代表第*i*个省第*t*年的资本存量， $I_{it}$  代表第*i*个省在第*t*年的投资， $\delta_{it}$  代表第*i*省在第*t*年的固定资产折旧率，具体算法参照张军和吴英<sup>[41]</sup>的已有研究成果，以当前不变价格计算。劳动力数据主要来源于《中国统计年鉴》、分省统计年鉴，当年就业人数按各省区历年从业人员数指标来计算。煤炭消费总量、石油消费总量作为能源投入指标，数据来自各省《统计年鉴》和各省《能源统计年鉴》。产出指标GDP的数据来源于相应年度的《中国统计年鉴》及各省的统计年鉴。但需要注意的是，废气排放作为模型的输出部分，与以往DEA模型的输出部分不同的是它是我们大家都不希望得到的输出，因为人们在寻求能源利用高效率时，总是希望随着能源消费量的增加，我国的经济飞速发展而且废气排放减少，处理这种状况时，本文采取的方法是参照李力、韩丽媛<sup>[23]</sup>的计算方法，将输出部分即各省当年的工业废气排放总量（数据来自各年相应的《中国统计年鉴》）取其负数，再对输出部分同时增加一个足够大的正常量使其变成正数，然后将其作为期望产出增加到常规DEA模型中，由于模型计算的是相对效率，因此从整体上来看，不会影响最后的计算结果。

## 第4章 基于DEA的我国区域能源利用效率的实证研究

### 4.1 引言

本章将以1998~2007年的全国29个省的面板数据为基础，对我国29个省的能源利用效率运用DEA模型进行了实证研究。本章重点在于对我国各地区、各省份的能源利用效率进行比较研究，深入探讨影响我国能源利用效率的因素，并且有针对性地提出几点建议，从而为决策者提供参考建议，促进各地区经济的协调发展。

本章首先在10年数据基础上运用投入导向的DEA模型进行能源利用效率的综合评价，得出各个省的总效率得分，以及统计出技术有效的省份在效率前沿面上被参考的次数；然后，通过运用超效率DEA模型下的投入导向型得到各省超效率数值及排名，综合比较分析了我国各地区之间能源利用效率的差异，并分析产生这些差异的可能影响因素，再根据松弛变量的估计值探讨纯技术DEA无效的省份投入和产出可以改进的地方，并且计算出改进后所应达到的理想值，从而可以充分发挥能源利用效率较高省份的示范作用，为利用效率较低省份的决策层提供增加效率最佳途径。

### 4.2 实证研究

#### 4.2.1 基于CCR模型的结果分析

通过数据包络分析方法（DEA），根据DEAP2.1软件包，可以计算得到我国29个省在1998~2007年的能源利用效率得分，见表4.1

表4.1 基于模型（5）的各省能源利用效率分值

地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京	0.931	0.977	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
天津	0.823	0.878	0.933	0.933	0.954	0.957	0.969	0.996	1.000	1.000
河北	0.854	0.853	0.868	0.885	0.896	0.899	0.802	0.948	0.944	0.943
辽宁	0.888	0.907	0.924	0.905	0.892	0.845	0.781	0.792	0.790	0.785
上海	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
江苏	0.923	0.927	0.951	0.954	0.980	0.976	0.985	1.000	1.000	1.000
浙江	0.935	0.922	0.906	0.905	0.926	0.937	0.917	0.876	0.887	0.880
福建	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
山东	0.793	0.821	0.887	0.877	0.890	0.861	0.850	0.849	0.848	0.828
广东	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
海南	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
广西	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

(续表)

年份 地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
东部均值	0.929	0.937	0.956	0.955	0.962	0.956	0.942	0.955	0.956	0.953
山西	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
吉林	0.719	0.759	0.877	0.865	0.855	0.829	0.813	0.780	0.745	0.760
黑龙江	0.755	0.763	0.823	0.815	0.802	0.796	0.813	0.831	0.814	0.782
安徽	0.753	0.789	0.864	0.902	0.919	0.894	0.948	0.920	0.915	0.938
江西	0.785	0.854	0.964	0.964	0.952	0.898	0.933	0.910	0.901	0.917
河南	0.837	0.840	0.940	0.944	0.963	1.000	0.997	1.000	1.000	1.000
湖北	1.000	1.000	1.000	0.966	0.909	0.865	0.861	0.831	0.823	0.812
湖南	0.840	0.893	0.980	0.973	0.957	0.947	0.973	0.923	0.946	0.962
内蒙古	0.889	0.932	1.000	1.000	1.000	0.979	0.931	0.943	0.936	0.933
中部均值	0.842	0.870	0.939	0.937	0.929	0.912	0.919	0.904	0.898	0.900
四川	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
贵州	0.884	0.928	0.855	0.876	0.875	0.724	0.861	0.874	0.844	0.822
云南	0.964	0.973	1.000	0.900	0.882	0.794	0.905	0.860	0.871	0.847
陕西	0.521	0.564	0.664	0.663	0.655	0.635	0.652	0.651	0.644	0.639
甘肃	0.748	0.869	0.956	0.903	0.848	0.798	0.801	0.781	0.772	0.765
青海	0.974	0.993	1.000	0.942	0.823	0.785	0.751	0.938	1.000	1.000
宁夏	0.647	0.670	0.710	0.759	0.694	0.662	0.626	0.619	0.652	0.764
新疆	0.594	0.605	0.659	0.650	0.629	0.624	0.614	0.637	0.640	0.635
西部均值	0.792	0.825	0.856	0.837	0.801	0.753	0.776	0.795	0.803	0.809

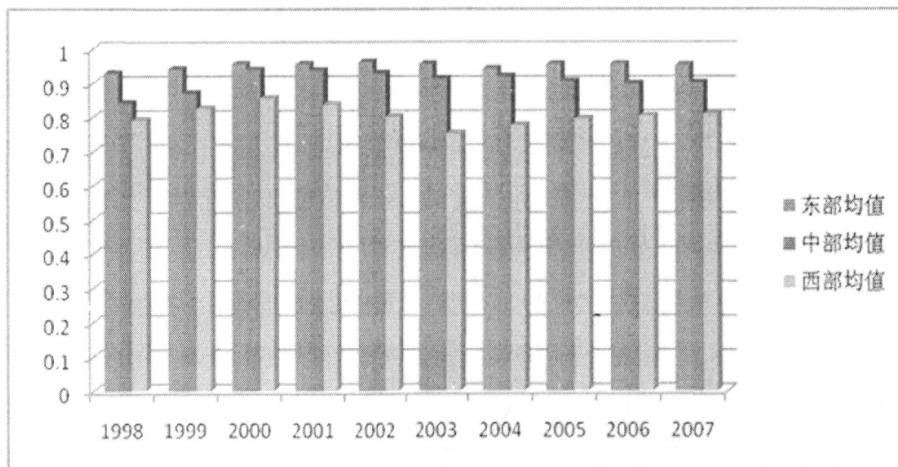


图 4.1 模型能源利用效率变动趋势图

从表4.1、图4.1可以看到：从区域比较来看，由DEA模型测得的我国东部、中部地区能源利用效率总体变动趋势大体相同，东部地区每年的能源利用效率均值趋于稳定，先略微上升，在2002年效率略微下降；中部地区能源利用效率均值波动也不是很大，效率呈现先上升后下降的趋势，但是上升和下降的幅度不大，转折点在2001年；但西部地区波动比较大，呈现出先上升再下降再上升的趋势，并且趋势比较明显，转折点在2000年。从各省的能源效率的比较来看，我国大部分省份能源效率呈现先上升再下降的趋势，转折点在1999~2002年之间，这与史

丹<sup>[56]</sup>、孙鹏等<sup>[42]</sup>、魏楚、沈满洪<sup>[3]</sup>等人利用能源生产率得出的研究结论基本一致。上海、福建、广东、广西、海南、山西、四川七省的能源利用效率都达到1，处在前沿面上，北京、江苏、云南、湖北、河南、青海也有若干年处在效率前沿面上，能源利用效率较低的省份是新疆、宁夏、陕西、黑龙江、吉林和甘肃。本文计算的结果与魏楚、沈满洪<sup>[3]</sup>，高振宇、王益<sup>[43]</sup>，杨杰，宋马林，叶小榕<sup>[33]</sup>计算得到的结果部分是一致的，但是其中的差别也很明显。譬如，我国中、西部地区各省能源利用效率提高了，特别是四川效率为1，青海从2006年之后效率就处在前沿面上，贵州的效率也升高很快，这与吴琦、武春友<sup>[29]</sup>等计算的结果很接近。中部地区的山西省效率处在前沿面上，结果有很大的差异可能与山西省的能源消费结构有关，本文在分析能源消费结构时没有考虑天然气、电力等对能源利用效率的影响，事实上山西在最近两年天然气的用量不断增加、电力企业有所增加而煤炭企业数量下降，从而导致环境污染减少、能源利用效率提高的结论是可以接受的。还有中部的黑龙江省效率在魏楚、沈满洪<sup>[3]</sup>等人的计算中处在前沿面上，而本文测算其效率处于下游，这与黑龙江本身的能源消费状况以及选取的时间和本文选取的指标不同有关。黑龙江省属于东北老工业基地，是全国重要的石油、煤炭等能源生产基地，2007年生产的原油、原煤和天然气分别占全国总量的22.3%、3.2%和3.7%。黑龙江省能源消费以煤炭为主，单位GDP能耗呈下降趋势。在黑龙江省能源消费结构中，煤炭的消费比重由1952年的98.3%，下降到2007年的66%，但仍居首位，能源消费结构很不合理，黑龙江省产业结构中工业特别是重工业所占比重大，落后的高耗能产业占大部分，新能源的开发利用速度有待进一步加快等因素导致能源效率低的结论是可以理解的。还有湖北、河南、内蒙古也有若干年处在前沿面上，与其他研究者的结果略有不同。综上所述，本文的研究结果与以往大体相同，但也存在一定的差异性。深究其原因可能是本文定义的能源利用效率是在综合考虑了能源消费结构和环境因素对能源利用效率的影响的全要素框架下，将测量点同当前可行的最优绩效点所构成的前沿进行相对比较，从方法上来说更能反映一个地区对能源要素的实际利用效率水平。

#### 4.2.2 基于超效率 DEA 的模型（6）的结果分析

为了对它们的效率做出更进一步的比较和评价，本文利用效率测量软EMS1.3计算出了超效率DEA模型下的投入导向型的各省效率数值及排名，特别是可以给已经DEA有效的决策单元算出各个不同的评分（见表4.2），其相对效率值均大于1，且高低分明，有效地甄别了这些省份的相对能源利用效率，通过这些具有敏感性功能的分值的排序，可以更全面的评价我国各省的能源利用情况，从而为能源利用效率较低的省份提供一些改善的方案。

表 4.2 基于超效率 DEA 的模型 (6) 的各省效率分值及排名

年份 地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	均值	排名
北京	0.931	0.977	1.085	1.204	1.230	1.277	1.325	1.361	1.306	1.289	1.198	5
天津	0.823	0.878	0.933	0.933	0.954	0.957	0.969	0.996	1.015	1.012	0.947	14
河北	0.854	0.853	0.868	0.885	0.896	0.899	0.950	0.948	0.944	0.935	0.903	19
辽宁	0.888	0.907	0.924	0.905	0.892	0.845	0.781	0.792	0.790	0.785	0.851	22
上海	1.490	1.437	1.395	1.278	1.426	1.430	1.393	1.323	1.352	1.376	1.390	2
江苏	0.923	0.927	0.951	0.954	0.980	0.985	0.985	1.017	1.059	1.067	0.985	12
浙江	0.935	0.922	0.906	0.905	0.926	0.940	0.917	0.876	0.887	0.880	0.909	17
福建	1.258	1.287	1.251	1.307	1.247	1.168	1.111	1.064	1.054	1.078	1.182	7
山东	0.793	0.821	0.887	0.877	0.890	0.861	0.850	0.849	0.848	0.828	0.850	23
广东	1.100	1.105	1.150	1.173	1.220	1.250	1.286	1.356	1.367	1.347	1.235	4
海南	5.872	6.480	4.261	3.642	2.865	2.889	2.782	3.175	6.703	5.712	4.438	1
广西	1.154	1.129	1.076	1.086	1.041	1.001	1.045	1.051	1.063	1.051	1.070	9
山西	1.111	1.137	1.196	1.159	1.216	1.228	1.469	1.417	1.374	1.375	1.268	3
吉林	0.719	0.759	0.877	0.865	0.855	0.829	0.813	0.780	0.745	0.760	0.800	25
黑龙江	0.755	0.763	0.823	0.815	0.803	0.796	0.813	0.831	0.814	0.782	0.799	26
安徽	0.753	0.789	0.864	0.902	0.920	0.894	0.948	0.920	0.915	0.938	0.884	20
江西	0.785	0.854	0.964	0.964	0.952	0.898	0.933	0.910	0.901	0.917	0.908	18
河南	0.837	0.840	0.940	0.944	0.963	1.521	0.997	1.066	1.070	1.071	1.025	10
湖北	1.499	1.282	1.035	0.966	0.909	0.865	0.862	0.832	0.823	0.812	0.988	11
湖南	0.840	0.893	0.980	0.973	0.957	0.947	0.973	0.923	0.946	0.962	0.939	15
内蒙古	0.889	0.932	1.030	1.041	1.035	0.980	0.931	0.943	0.936	0.933	0.965	13
四川	1.146	1.089	1.050	1.195	1.369	1.035	1.290	1.360	1.241	1.158	1.193	6
贵州	0.884	0.928	0.855	0.876	0.875	0.724	0.861	0.874	0.844	0.821	0.854	21
云南	0.964	0.973	1.154	0.900	0.882	0.794	0.905	0.861	0.871	0.846	0.915	16
陕西	0.521	0.564	0.664	0.663	0.655	0.635	0.652	0.651	0.644	0.639	0.629	28
甘肃	0.748	0.869	0.956	0.903	0.849	0.798	0.801	0.781	0.772	0.765	0.824	24
青海	0.974	0.993	1.234	0.942	0.823	0.785	0.752	0.938	1.215	2.488	1.114	8
宁夏	0.647	0.670	0.710	0.759	0.694	0.662	0.626	0.619	0.652	0.764	0.680	27
新疆	0.594	0.605	0.659	0.650	0.629	0.624	0.614	0.637	0.640	0.635	0.629	29

表 4.3 效率前沿面上各省每年被参考次数统计表

年份 地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	总和
上海市	5	6	3	0	2	2	3	4	1	4	30
福建省	12	12	7	6	8	5	7	4	2	3	66
广东省	8	9	12	16	13	19	17	15	14	13	136
海南省	14	14	10	13	12	16	17	17	12	7	132
广西省	7	6	6	9	8	2	7	3	3	4	55
山西省	2	2	1	2	4	8	13	5	6	6	49
四川省	2	2	1	2	2	0	3	3	3	3	21

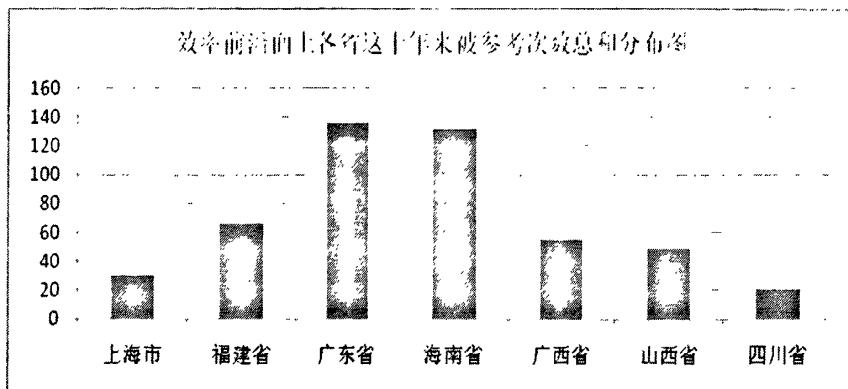


图 4.2 效率前沿面上各省被参考次数分布图

从表 4.2 得到：在超效率模型下，对于 DEA 无效的省份其效率值与 CCR 模型一致，对于有效率的省份能够进行排序，通过各省能源利用效率排名表可以得到这 10 年来各省平均能源利用效率排名前 6 位的是海南、上海、山西、广东、北京和四川，排名后 6 位的是新疆、陕西、宁夏、黑龙江、吉林和甘肃。东部地区各省排名靠前的占多数，只有河北、辽宁、山东省的排名靠后，中部地区大部分省份效率排名处在中游、只有吉林、黑龙江省排名靠后，西部地区大部分省份效率排名靠后，只有四川和青海省排名靠前。从这些省的平均超效率得分中可以看出：除了新疆、宁夏、陕西、黑龙江、吉林效率较低外，只有海南省的超效率得分很高，每年都大于 3，其他省的超效率值都基本上略超过 1 或者略低于 1。海南省能源利用效率遥遥领先是由于海南省四面临海，是海洋面积最大的省份，海洋资源储量丰富，受权管辖南海，其中蕴藏丰富的海洋油气资源，南海油气开发利用速度快；海南阳光充足，太阳能丰富，到 2010 年，全省将实行利用太阳能、浅层地能面积占新建建筑面积比例达 30%，其中海口达到 50% 的太阳能目标；并且海南省生物能、核能、水能等非常丰富，这些都是可再生的清洁能源，污染少；还有海南省注重发展旅游业，工业废气排放相对较少；可见海南省能源利用效率最高是可以肯定的。处在效率前沿面上效率为 1 的七省，还可以从他们在前沿面上被参考的次数做出优劣区别。从表 4.3 和图 4.2 可以看出广东、海南省被参考次数最多，堪称全国能源利用效率的标兵，其他能效较低的省份可以直接参照这两个省的投入、产出比例来改善其能源效率，而其他省的被参考次数相对较少，这与超效率模型测算的效率较优的省份大体上一致。

综合表 4.1、表 4.2 发现：我国大部分省份能源效率基本上波动不大，这些排名靠后的省份大多是老工业基地，生活用煤较多，能源消费结构不是很合理，特别是煤炭消费量大，新能源的开发利用速度比较迟缓，从而造成污染物排放较多；还有些省份在边远的西部，经济基础比较落后，虽然自然资源、矿产资源比较丰富，但是由于其生产技术和成功的经验不足，西部地区没有利用其资源优势，发

展具有比较优势的产业，如各类劳动密集型产业与资源密集型产业，导致能源消费结构不合理，从而造成了资源的大量浪费，最终导致能源利用效率低。

### 4.3 能源利用无效率省份的改进分析

#### 4.3.1 能源利用无效率省份的松弛变量分析

从上述表格4.1可看出，这10年来，上海、福建、广东、海南、广西、山西、四川七省的DEA有效值均为1，属于确定性DEA有效，说明这七个省的资本存量、劳动力、煤炭消费、石油消费等方面的投入，GDP、工业废气排放总量等方面的产出处于相对最佳状态，其投入与产出处于相对平衡状态。其他省份在这10年当中某些年的DEA有效值小于1，属于DEA无效，说明这些省份各投入与产出量还有进一步调整的空间。对于DEA技术无效率的省份，我们可以根据他们的松弛变量的分布和数值进行改进。有松弛变量分布的地方就是可以做出投入减少和产出增加的地方，松弛变量的数值大小就是可以改进的数值大小。由于我们选取的是投入导向的CCR模型，我们可以对能源技术无效省份的各投入指标就其松弛变量的分布和数值大小进行改进。10年来各省的石油消费量、煤炭消费、资本存量、从业人员的松弛变量分布，如表4.4、表4.5、表4.6、表4.7所示。

表 4.4 能源利用技术无效的省份的石油消费量的松弛变量分布 ( $s_4^-$ )

地区	年份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北 京	0.0	0.0									
天 津	116.6	195.2	323.4	471.5	137.5	85.7	40.0	0.0			
河 北	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
辽 宁	1689.3	1906.9	2489.8	2647.1	2665.2	2647.8	2711.9	2920.3	2896.7	3140.5	
江 苏	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
浙 江	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
山 东	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
吉 林	104.9	98.9	100.7	66.1	52.5	129.4	0.0	146.4	0.0	0.0	0.0
黑 龙 江	488.1	635.8	808.1	751.3	691.5	710.0	612.7	672.3	618.7	572.6	
安 徽	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
江 西	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
河 南	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
湖 北				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
湖 南	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
内 蒙 古	0.0	0.0				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
贵 州	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
云 南	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
陕 西	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	59.4	56.7	86.6	93.0	
甘 肃	471.2	548.8	716.3	652.4	574.2	561.9	607.6	619.9	589.6	544.3	
青 海	37.5	33.3		21.0	0.9	0.0	0.0	21.4			
宁 夏	22.0	21.3	18.1	37.5	34.2	71.7	32.0	18.0	0.0	0.0	0.0
新 疆	374.7	321.4	399.2	421.8	343.7	324.5	318.3	533.8	615.1	552.1	

注：空格部分表示不需要改进

表 4.5 能源利用无效的省份的煤炭消费量的松弛变量分布 ( $s_3^-$ )

年份 地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京	128.6	124.8								
天津	583.8	694.6	919.3	1128.7	1186.5	1275.6	1482.1	1715.2		
河北	6088.8	6194.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
辽宁	5225.4	5174.0	6289.5	5669.0	5653.0	5838.6	6204.5	6759.1	7208.7	7412.4
江苏	3294.5	3137.9	3072.7	3120.3	3101.9	3159.7	0.0			
浙江	1429.4	1228.7	1408.3	1342.3	1666.3	1312.0	0.0	0.0	0.0	0.0
山东	2892.6	2337.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5243.4	13908.1
吉林	1728.1	1800.5	1879.5	2804.7	2818.7	2972.8	2790.4	3703.6	3729.8	3523.4
黑龙江	2601.6	2352.7	2392.9	2795.4	2649.0	3132.3	3749.9	4674.1	4719.1	4857.4
安徽	1657.4	1679.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
江西	93.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
河南	2609.0	2364.8	0.0	0.0	0.0		0.0			
湖北				0.0	0.0	0.0	0.0	1616.4	1594.0	0.0
湖南	860.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
内蒙古	1801.6	3826.2				0.0	346.8	1912.1	8151.6	12513.8
贵州	3410.4	3268.0	0.0	2996.3	3027.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
云南	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
陕西	540.8	0.0	0.0	0.0	916.5	1210.6	1736.7	2272.1	2858.2	2840.9
甘肃	157.0	384.3	560.4	1730.6	1753.4	1858.8	1984.0	2083.0	2107.8	2328.7
青海	430.2	531.6		424.2	292.3	147.4	193.1	428.4		
宁夏	518.8	465.8	455.5	758.4	745.1	1710.7	1449.3	1756.7	1444.5	2346.5
新疆	703.7	750.2	912.8	918.7	880.2	907.8	1081.4	1197.5	1049.0	1691.3

注：空格部分表示不需要改进

表 4.6 能源利用无效的省份的资本存量的松弛变量分布 ( $s_1^-$ )

年份 地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京	594.1	478.76								
天津	0	0	0	0	0	0	0	0		
河北	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
辽宁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
江苏	162.8	131.26	0	0	51.75	0	0			
浙江	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
山东	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
吉林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
黑龙江	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
安徽	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
江西	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(续表)

年份 地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
河南	0	0	0	0	0		0			
湖北				0	0	0	0	0	0	0
湖南	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
内蒙古	0	0			0	0	0	0	0	92.58
贵州	399.9	358.1	0	102.02	192	0	579.2	503.7	48.91	0
云南	130.1	202.41		0	0	0	0	0	0	0
陕西	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
甘肃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
青海	0	0		0	0	38.74	6.09	212.6		
宁夏	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新疆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

注：空格部分表示不需要改进

表 4.7 能源利用无效的省份的从业人员的松弛变量分布 ( $s_2^-$ )

年份 地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京	0	0								
天津	0	0	0	0	0	0	0	0		
河北	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
辽宁	0	0	0	0	34.02	8.81	0	0	0	0
江苏	0	0	0	0	0	0	0			
浙江	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
山东	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
吉林	0	0	0	193.88	223.38	151.59	154.91	63.05	0	0
黑龙江	0	0	0	198.38	220.19	219.69	212.2	163.05	126.27	67.11
安徽	0	0	0	51.1	0	733.11	0	115.83	134.92	313.22
江西	0	151.94	121.46	331.05	250.29	487.4	0	0	0	0
河南	0	0	0	170.31	0		0			
湖北				371.95	323.85	578.49	75.31	170.71	111.83	407.11
湖南	0	733.38	262.47	0	0	388.46	0	633.85	395.74	270.89
内蒙古	0	0				0	0	0	0	0
贵州	662.49	737.11	770.29	708.37	730.88	582.76	1007.3	1052	958.37	960.88
云南	0	0		0	0	34.41	126.72	185.41	262.79	288.68
陕西	0	41.94	0	309.97	525.51	518.09	476.46	400.04	332.71	263.74
甘肃	138.41	274.64	375.14	674.06	675.26	654.9	642.11	606.89	581.12	552.82
青海	45.79	55.8		24.32	10.62	0	0	0		
宁夏	0	0	0	40.31	33.56	23.04	13.99	0	0	0
新疆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

注：空格部分表示不需要改进

根据各省每年的各投入指标松弛变量的分布表，可以寻求提高能源利用效率

的有效途径。关于煤炭消费，大多数省份每年的松弛变量均不为0或者有若干年不为0，说明这些省份在生产中存在煤炭消费过高的问题从而导致了煤炭资源的大量浪费。关于石油消费，绝大部分省份在这10年里的松弛变量都为0，说明这些省份石油消费量比较均匀，没有过多的浪费，但是东部的天津、辽宁，中部的吉林、黑龙江还有西部的青海、甘肃、宁夏、新疆这八省绝大部分省份的石油消费量的松弛变量不为0，说明这些省份存在着石油消费过高的问题。综合表4.4、表4.5我们发现：辽宁、黑龙江、甘肃、新疆四省每年的 $s_3^-$ 和 $s_4^-$ 的值都不为0，并且这四省的 $s_3^-$ 和 $s_4^-$ 的值不断增大，可见它们在能源消费方面造成了大量的浪费，煤炭和石油的替代效应不强，能源利用效率偏低。天津市 $s_3^-$ 的值每年依次增加，而 $s_4^-$ 值依次减少和青海省 $s_3^-$ 的值先增加后减少， $s_4^-$ 的值先减少后增加的趋势，这可能与煤炭和石油之间的替代效应有关。在这些能源利用无效率的省份中，关于资本的投入，除了东部的北京、江苏，中部的内蒙古、西部的贵州、云南、青海的极少部分年份的松弛变量不为0外，其他省份每年的松弛变量均为0，即固定资产投入不存在冗余，均达到最优状态。关于员工人数，大多数中、西部省份均存在人员冗余，而东部只有辽宁省在2002、2003年从业人员存在冗余，反映了中西部地区普遍存在的人力资源浪费和员工工作效率不高的现象。

综上所述，我国各省目前能源消费结构不合理，煤炭消费严重过量，特别是东部、西部地区绝大部分省份存在大量的浪费；东、中、西部极个别省份石油消费还是不太均衡，也还有很大的改进空间；煤炭和石油的替代效应不强；中、西部地区普遍存在劳动力冗余、劳动生产率不高的现象，亟需提高各省的劳动力的素质以及提高生产率，同时也有少部分省份在某些年的资本存量改进方面也还有很大的潜力。

### 4.3.2 能源利用无效率省份改进后的理想值

#### 4.3.2.1 能源利用无效率省份的具体改进过程说明

具体改进过程可以表述为： $x_{ij}^* = \theta_i^* x_{ij_0} - s_{ij_0}^-$  ( $i=1,2,3,4$ )， $x_{ij}$  表示第*i*项投入； $\theta_i^*$  为与该项对应的技术效率， $s_{ij_0}^-$  为与投入对应的松弛变量。 $y_{rj_0}^* = y_{rj_0} + s_{rj_0}^+$  ( $r=1,2$ )， $y_{rj_0}$  表示第*r*项产出， $s_{rj_0}^+$  为与该项产出对应的松弛变量。本文选取的是投入导向的CCR模型，又由于产出指标的松弛变量都为零，即产出不需要改进。从各投入指标松弛变量的分布表 4.4、4.5、4.6、4.7，我们可以得到改善各技术无效省份能源利用效率的方案。以辽宁省为例，它可以通过优化投入要素的配置，提高要素的生产效率来提高产出。具体操作是：每年减少煤炭消费量、缩小石油消费规模、减少固定资本存量以及从业人员来提高产出。譬如在 2007 年辽宁省的总技术效

率  $\theta^*=0.785<1$ , 表示实际投入可以依  $\theta^*=0.785$  的比例压缩, 然后再将各种投入指标减少相应的松弛变量的值, 也即分别将压缩后的煤炭消费量减少 7412.4 万吨, 石油消费量减少 3140.5 万吨, 而保持原产出不变, 而黑龙江在 2007 年的  $\theta^*=0.782<1$ , 因此可以将实际投入依  $\theta^*=0.782$  的比例压缩, 然后分别将压缩后的煤炭消耗量减少 4857.4 万吨, 石油消费量减少 572.6 万吨, 员工人数减少 67.11 万吨来保持远产出不变。青海省 2005 年的各种投入指标的改进方案为: 先将各种投入同比例压缩为原来的 0.938, 然后分别将压缩后的煤炭消费量减少 428.4 万吨、石油消费量减少 21.4 万吨、固定资本投资减少 212.6 亿元。

#### 4.3.2.2 各投入指标改进后的理想值

为了更详尽的了解我国各省在这 10 年里能源消费改进后的状况, 本文通过上述的改进过程得到改进后各投入指标所应该达到的理想数值, 结果如表 4.8、表 4.9、表 4.10、表 4.11.

表 4.8 能源利用技术无效的省份的煤炭消费量经过改进后的理想值

年份 地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京	2364.6	2465.2								
天津	1329.7	1315.1	1387.7	1329.8	1607.8	1791.9	1917.7	2071.0		
河北	3660.5	3736.1	10515.9	11187.3	12310.1	13351.4	13693.3	19474.2	20150.1	23149.2
辽宁	2484.2	2501.0	2564.4	2552.0	2691.7	2994.9	3124.5	3592.1	4018.2	4538.7
江苏	4616.5	4940.0	5267.4	5430.4	6367.8	7428.7	13073.0			
浙江	2921.2	3172.9	3470.3	3659.6	4440.7	5496.9	7667.8	8480.4	10053.6	11461.2
山东	4975.5	5835.4	7715.4	9732.9	11514.8	13057.7	15529.6	21435.5	19349.7	12341.8
吉林	1278.8	1419.9	1815.0	1074.0	1169.0	1339.7	1855.9	1602.3	1894.1	2440.0
黑龙江	1900.5	1986.5	2393.0	1717.3	1796.5	2034.1	2223.5	2439.0	2627.3	2847.4
安徽	2396.0	2670.4	5105.7	5742.1	6138.0	6694.8	7416.3	7672.5	8079.9	9177.1
江西	1796.9	2079.5	2379.8	2491.0	2434.3	2773.6	3679.7	3861.0	4137.6	4740.9
河南	4139.7	4606.4	8201.4	8802.8	9950.7		14892.8			
湖北	5911.0	5993.0	6050.6	5888.7	5893.0	6261.3	6934.2	5573.9	6349.3	8554.1
湖南				3989.3	4102.7	4720.1	5876.7	8066.4	8928.8	9886.8
内蒙古	2894.1	1323.1				8835.1	10258.6	11216.2	7001.2	4776.1
贵州	1471.0	1398.0	4400.1	1336.4	1521.7	4918.6	6882.6	7561.4	8388.5	8738.1
云南	3048.2	2880.1		2790.9	3136.4	3663.2	5148.1	5746.1	6516.8	6454.5
陕西	1287.4	1690.9	1836.4	2077.2	1343.9	1304.4	1496.0	1665.9	1907.5	2203.2
甘肃	1618.8	1697.0	1810.8	573.0	619.3	709.6	802.9	846.3	948.6	1079.5
青海	93.8	100.9		180.6	218.0	382.8	317.6	227.2		
宁夏	184.5	232.3	284.2	178.8	211.2	252.2	279.2	254.4	830.7	812.6
新疆	843.1	810.7	868.1	858.4	942.6	1079.1	1148.5	1261.3	1790.2	1447.9

注: 空格部分表示不需要改进

表 4.9 能源利用技术无效的省份的石油消费量经过改进后的理想值

年份 地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京	967.0	1087.0								
天津	591.6	646.1	719.8	599.5	872.6	1046.7	1181.2	1347.6		
河北	867.2	906.5	970.2	919.4	966.3	1107.0	1105.5	1638.0	1751.2	1849.3
辽宁	1486.1	1629.6	1761.2	1763.1	1782.3	1802.9	1960.3	2242.5	2476.9	2583.4
江苏	1644.6	1740.3	2045.0	2001.5	2223.0	2634.1	3049.7			
浙江	1253.9	1396.5	1754.6	1820.4	2015.4	2369.9	2821.4	3179.3	3237.0	3385.4
山东	1789.4	1860.5	2391.4	2298.1	2106.0	2754.9	3666.3	4452.7	5060.7	5245.1
吉林	574.1	626.0	707.3	733.8	759.6	794.3	891.0	982.2	1116.4	1247.3
黑龙江	1029.8	1092.2	1166.4	1182.7	1181.6	1215.7	1382.9	1502.8	1601.7	1625.5
安徽	401.7	439.3	522.9	501.8	540.4	578.1	682.4	685.7	746.0	797.0
江西	330.6	406.1	512.3	500.2	562.0	602.0	634.7	703.2	749.7	725.4
河南	700.4	756.8	900.8	905.4	925.4		1287.3			
湖北				1055.3	1100.8	1215.0	1326.7	1477.5	1588.2	1811.5
湖南	530.4	675.4	834.1	709.1	804.1	833.7	1038.7	1172.5	1175.6	1349.8
内蒙古	209.9	231.8				410.4	545.2	688.3	804.1	906.9
贵州	86.0	101.3	103.6	123.1	131.0	127.3	162.4	197.0	228.1	257.5
云南	191.5	205.5		229.6	268.5	269.4	345.0	378.0	435.2	492.6
陕西	314.9	404.6	544.1	614.6	717.1	772.3	921.2	1023.1	1173.9	1299.1
甘肃	289.1	330.5	366.7	383.5	392.2	414.4	482.1	513.9	605.2	721.3
青海	53.1	63.8		79.3	82.6	86.7	94.9	107.5		
宁夏	67.9	77.5	86.6	94.5	104.8	119.0	138.0	142.2	179.1	203.2
新疆	437.2	464.1	527.6	491.5	559.0	626.6	700.7	792.3	871.5	992.1

注：空格部分表示不需要改进

表 4.10 能源利用技术无效的省份的资本存量经过改进后的理想值

年份 地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京	6400.3	5865.039								
天津	3376.79	3175.466	3588.3	4182.9	4973.5	5888.3	7053	8596		
河北	8091.56	7280.223	8233.8	9925.2	11685	13738	14589	20793	25373	31216
辽宁	6890.48	6498.996	7019.6	8038	9217.2	10318	11640	14811	18837	23994
江苏	14368.9	13404.68	14876	17357	20835	25419	31492			
浙江	9955.76	9015.916	9783	12091	15283	19480	23857	27953	34390	40818
山东	12063.8	11328.17	13034	15098	18124	21670	26750	33861	42340	50726
吉林	2559.35	2411.336	2957.2	3465.5	4070.2	4672.6	5442	6448	7906	10574
黑龙江	4391.07	4222.918	4736.4	5400.3	6072.6	6866.4	8065	9548	10998	12569
安徽	4253.5	4091.192	4657.8	5591.2	6589.2	7556.5	9671	11486	14346	19021
江西	2801.97	2670.262	3162.9	3713.5	4432.3	5238.8	6888	8509	10610	13536
河南	7245	6893.018	8107.5	9459.7	11153		16379			
湖北				6306.9	7253.7	8317.6	10042	11703	14078	17068
湖南	5109.75	4779.229	5607.6	6600.4	7658.1	8939.5	11008	12636	15666	19545
内蒙古	2293.65	2178.241				4521.1	5804	8133	10918	14479
贵州	1759.6	1664.304	1951.1	2321.5	2729.4	2906.9	3551	4478	5675	6681
云南	3819	3531.37		4320.5	4883.6	5114.2	6886	7925	9766	11609
陕西	2396.44	2284.2	2821.3	3280.6	3783	4356.7	5363	6462	7837	9749
甘肃	1459.92	1273.22	1606.1	1892.9	2181	2499.5	3040	3579	4251	5115
青海	733.827	683.017		863.39	927.22	1027.1	1210	1586		
宁夏	549.4	512.802	582.2	753.5	831.39	983.36	1143	1378	1745	2460
新疆	2222.17	2105.654	2420.5	2802.3	3166.7	3690.6	4268	5199	6130	7145

注：空格部分表示不需要改进

表 4.11 能源利用技术无效的省份的从业人员经过改进后的理想值

年份 地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京	580.9	607.7								
天津	351.4	369.6	379.7	383.5	384.5	401.7	408.9	425.2		
河北	2889.1	2849.0	2986.8	2991.3	3033.9	3047.2	2740.0	3287.0	3320.3	3363.9
辽宁	1614.4	1629.0	1675.2	1658.9	1609.0	1564.0	1524.2	1567.1	1599.7	1626.0
江苏	3355.1	3333.5	3384.6	3401.0	3435.9	3523.7	3663.9			
浙江	2478.7	2453.4	2446.2	2508.7	2625.2	2775.3	2835.4	2805.7	3023.9	3181.6
山东	3693.0	3857.9	4135.2	4097.3	4229.3	4176.4	4198.7	4339.1	4398.2	4357.1
吉林	810.3	837.2	946.3	720.4	712.8	714.4	752.1	794.5	817.9	833.1
黑龙江	1300.9	1281.8	1345.6	1130.9	1083.9	1071.7	1107.5	1188.0	1211.0	1230.9
安徽	2493.2	2614.0	2914.3	3006.7	3128.3	2320.8	3273.6	3090.1	3105.2	3061.3
江西	1547.2	1522.8	1743.9	1532.4	1610.9	1283.7	1903.1	1917.8	1938.5	2013.4
河南	4185.0	4372.2	5237.7	5037.7	5317.7			5570.6		
湖北				1996.7	1918.7	1616.3	2153.5	2053.3	2126.4	1836.4
湖南	2939.2	2388.5	3130.3	3346.1	3319.8	2941.1	3502.4	2742.8	3108.1	3335.9
内蒙古	895.2	947.8				984.1	948.8	981.8	993.4	1009.0
贵州	1057.8	1096.6	979.0	1103.2	1090.0	951.0	860.0	1936.6	940.1	915.7
云南	2188.3	2211.6		2090.7	2064.8	1831.2	2046.5	2116.7	1941.8	1914.2
陕西	938.8	962.5	1203.8	873.5	701.3	695.6	752.4	1225.8	892.5	964.4
甘肃	741.2	756.0	754.9	397.8	389.0	385.7	416.6	1052.5	469.6	498.6
青海	178.2	183.5	239.0	201.8	192.7	199.6	197.6	251.0	272.0	276.3
宁夏	168.2	181.6	194.5	170.7	162.1	169.3	172.6	185.5	198.6	236.5
新疆	402.7	405.4	442.8	445.3	440.9	450.1	457.1	486.9	500.8	508.5

注：空格部分表示不需要改进

由以上四表我们可以很清楚的了解到各能源利用无效率省份在保持总产出不变的情况下，各投入指标经改进后所能达到的理想值。譬如，2007年湖南省在保持产出不变的情况下，为了使能源利用效率相比于原来变得技术有效，其各投入指标的理想值分别为：煤炭消费量为9886.8万吨、石油消费量为1349.8万吨、资本投资量为19545.5亿元、从业人员人数为3335.9万人；而甘肃省在2007年各投入指标改进后的理想值分别为：煤炭消费量为1079.6万吨、石油消费为721.3万吨、资本投资量为5115亿元、从业人员人数为498.6万人。

## 第5章 结论及政策建议

### 5.1 研究结论

本文构建了一个基于能源—经济—环境的四种投入两种产出的超效率DEA模型，测算并分析了1998~2007年间我国各省能源利用效率得分并排序，并给出了各种投入指标的松弛变量分布和数值及这些指标经改进后的理想值，主要结论有：

(1)从能源利用效率变化趋势来看，我国大部分省份的能源利用效率符合“先上升、再下降”的特征，转折点一般在1999~2002年之间。但是我国能源利用效率地区差异很大，东部地区能源利用效率最高，其次是中部，西部。东部地区整体能源利用效率波动不大，比较平稳，中部地区各省能源利用效率变动呈现先上升再下降的趋势，变动不是很明显，但是西部地区能源利用效率变动趋势比较明显，呈现先上升再下降再上升的趋势。

(2)从各省在超效率模型下的效率得分来看：在这10年里，大部分省份的能源利用效率处于非DEA有效状态，处在效率前沿面上的省份只有七个，分别是上海、福建、广东、海南、广西、山西、四川省；平均能源利用效率得分最高的省份依次是海南、上海、山西、广东、北京，而平均能源利用效率最低的省份依次是吉林、黑龙江、宁夏、陕西、新疆。这在一定程度上可以说明我国各省在提高能源利用效率方面还有很大的上升空间，能源、经济和环境的协调发展有待进一步加强。

(3)全国各区域能源利用无效率的原因是复杂的，对于技术无效的省份通过松弛变量的分布值可以看出，关于固定资产投入，除了极少部分年份的松弛变量不为0外，其他省份每年的松弛变量均为0，即固定资产投入不存在冗余，均达到最优状态；关于员工人数，大多数中、西部省份均存在人员冗余，而东部只有辽宁省在2002、2003年从业人员存在冗余，反映了中西部地区普遍存在的人力资源浪费和员工工作效率不高的现象；关于煤炭消费，大多数东部和西部省份在生产中存在煤炭资源的大量浪费或者是煤炭生产能力低的问题；关于石油消费，绝大部分省份在这10年里的松弛变量都为0，说明这些省份石油消费量适中，但是东部的天津、辽宁，中部的吉林、黑龙江还有西部的青海、甘肃、宁夏、新疆这八省绝大部分年份的石油消费量的松弛变量不为0，说明这些省份存在着石油消费过高的问题。

(4)通过对效率前沿面上各省被参考次数统计表中可以看出海南、广东省在前沿面上被参考的次数最多，因此这两个省的投入产出比例可以作为其他省份改

善能源利用效率的标准。通过对技术无效省份的改进，我们可以得到各省在每年投入指标改进后的理想值，从而为以后能源利用效率低的省份在提高能源利用效率方面提供帮助。

## 5.2 政策建议

21世纪，如何保持能源、经济和环境的可持续发展是我们面临的一个重要战略问题。在国民经济高速发展过程中，我国经济的发展不应该只注重总产值的提高，而应重视能源的投入量和对周边环境质量的负面影响，而应从可持续发展的角度出发，处理好经济、能源、环境三者的协调关系，提高整体的效率水平，寻求经济效益和社会效益的最大化。从实证部分我们了解到我国区域能源利用效率发展极不均衡，东、中、西部地区的能源利用效率差异很大，并且各地区不同指标的松弛变量分布也有很大的差距，因此如何有效地提高各地区的能源利用效率，这就要求各个地区根据本地区的实际情况，在不同时期分别考虑不同的区域发展战略。下面给出几点建议：

(1) 从整体上要加强东、中、西部之间的能源应用技术合作，充分发挥能源利用效率较高省份的示范作用，加强节能技术在不同省间的学习与推广，促进我国能源利用效率的区域协调发展。根据我国的实际情况，加强各种形式的信息交流和合作。一方面推进高科技人才由东部向中西部地区的转移，由东部经济和教育发达的地区为西部培养人才，加强对中西部地区的技术援助，积极宣传和传授先进的节能方法和管理经验，促进东部地区先进的生产技术和管理方法向中西部地区输出，推进中西部地区产业升级以及能源技术的改进，提高能源利用效率。另一方面要发挥西部地区能源资源丰富的优势，建设西部能源基地，为东部经济发达地区提供优质高效的能源产品，缓解东部地区时常出现的能源短缺现象。

(2) 要推动能源消费结构调整，积极开发利用可再生能源、新能源、清洁替代能源；推动能源技术创新，依靠新技术改变传统能源的使用模式，发展新能源开发利用技术；目前，我国能源消费以煤炭为主，煤炭消费所占比重约为70%，比世界平均水平高40个百分点。我国石油对外依存度已经突破50%，为实现可持续发展，中国必须改变能源消费结构：提高天然气的消费比重，开发新能源。一方面要打破单一品种的能源模式，减少对煤炭的过度依赖，加大对天然气、核电和其他新能源的开发使用力度，通过不同能源品种之间的替代，逐步降低煤炭在一次能源供应总量中的比重，实现能源结构多元化。另一方面积极开发清洁型能源，提高能源转化率，不断提高优质能源、新能源和可再生能源的供应比重。在保持经济平稳发展的同时，优先发展水电、太阳能、风能、生物质能、地热能、海洋能等洁净能源，稳步发展火电，积极发展核电，加快发展新能源和可再生

能源，提高优质能源的比重，积极推进能源各产业的结构调整，实现能源、经济和环境的均衡可持续发展。

(3) 要调整和优化产业结构，促进能源的有序发展和合理利用；推动工业工艺路线优化，有效减少原材料及能源消耗；要加强环境保护和治理力度，强化从源头防治污染，要有效控制二氧化硫、烟尘等污染物的排放，加强工业废弃物的去除力度，减少能源利用对环境的不利影响。

(4) 东部地区虽然能源利用效率最高，但是能源消费比重只占全国的一半左右，亟需降低该地区对外部能源需求的依赖，寻求洁净能源如水电、天然气等来替代煤炭、石油等污染严重的能源大力发展能耗低、产品附加值高的工业，积极发展高新技术产业和服务业。进一步发挥地区优势，加大技术投资力度，承接国际高技术产业转移的任务和挑战，扩大国际贸易，加快产业结构升级步伐，发展本区域的特色经济，实现东部地区经济的繁荣和能源利用效率的不断提高。

(5) 中部地区要进一步缩小与东部地区的差距，充分利用其地理、文化、能源等优势，培育主导产业，加大人力资本的投入，依靠科技进步推动产业结构的优化升级，大力发展战略性新兴产业，有选择地培育高新技术产业，着力调整农业结构、工业结构、支持新型服务业的发展。中部地区也应协调好经济发展与能源、环境之间的关系，加强对传统工业的技术改造和产品的更新换代，在能源基地和能源项目的建设中要有效地开发利用能源资源，禁止一些不符合国家标准的高耗能项目建设，不断提高节能、洁净技术、节约能源。

(6) 西部地区能源利用效率比较低，其影响因素比较复杂，因此在提高能源利用效率方面任务艰巨。首先西部地区经济基础比较薄弱，而资源相对丰富，这为西部的发展提供了先天的优势。西部地区要充分挖掘本地区的产业优势，率先向东部地区学习先进的生产技术和成功的发展经验，立足自身的资源优势，同时加强自主创新能力，调整产业结构，转变经济增长方式，使经济增长由粗放型转为集约型方向来。西部地区还应该扩大对外开放力度，努力吸引外资投入，同时还应该加大人力资本的投资力度，尽量提高节能、洁净技术，减少污染，提高能源利用效率。

## 参考文献

- [1] Asia Pacific Energy Research Centre.2001. Energy efficiency indicators—a study of energy efficiency indicators in APEC economies. AsiaPacific Energy Research Centre,Tokyo ([http://www.ieej.or.jp/aperc/2001/Efficiency\\_Part1.pdf](http://www.ieej.or.jp/aperc/2001/Efficiency_Part1.pdf)).
- [2] 周建. 中国能源利用效率改进作用机制实证研究——兼论“十一五”末单位 GDP 能耗降低 20%的合理性.财经研究, 2007, (7): 82-91
- [3] 魏楚, 沈满洪. 能源利用效率与能源生产率: 基于 DEA 方法的省际数据比较, 数量经济技术经济研究, 2007, (9): 110-121.
- [4] B.W.Ang. Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: From energy-GDP ratio to composite efficiency index,Energy Policy.2006, (34): 574-582.
- [5] 韩智慧, 魏一鸣, 范英. 中国能源强度与经济结构变化特征研究.数理统计与管理, 2004, (1): 1-6,52
- [6] 王玉潜. 能源消耗强度变动的因素分析方法及应用.数量经济技术经济研究, 2003, (8): 151-154
- [7] 吴巧生, 成金华. 中国工业化中的能源消耗强度变动. 财经研究, 2006, (6): 75-85
- [8] 齐志新, 陈文颖, 吴宗鑫. 中国的能源强度究竟有多高.数量经济技术经济研究, 2007, (8): 51-58
- [9] 高振宇, 王益. 我国生产用能源消费变动的分解分析.统计研究, 2007, (3): 52-57
- [10] 余甫功. 我国能源强度变化因素分析—以广东作为案例. 学术研究, 2007, (2): 74-79
- [11] 刘凤朝、潘雄峰、徐国良. 基于结构份额与效率份额的中国能源消费强度研究.资源科学, 2007,(4):2-6
- [12] 吴宗鑫, 刘滨, 齐志新. 美国和日本能源消费的比较对我国的启示.研究与探讨, 2005, (2): 5-11
- [13] 史丹. 产业结构变动对能源消费需求的影响.数量经济技术经济研究, 1999, (12): 50-52
- [14] Shi Dan.ON the Skepticism Regarding China's Economic Growth—Viewed from Information of China's Energy Utilization.China& world Economy, 2003, (6): 38-43

- [15] P. Zhou, B.W. Ang. Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency Performance. Energy Policy, 2008, (36): 2911-2916
- [16] P. Zhou , B.W. Ang, K.L. Poh. Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies. Energy Economics, 2008, (30): 1–14
- [17] Mukherjee k..Energy use efficiency in the Indian manufacturing sector:An interstate Analysis.Energy policy, 2007, (10): 1-11
- [18] Mukherjee k..Energy use efficiency in US manufacturing:A Nonpararnetrie Analysis.Energie Economics ,2008, (30): 76-96
- [19] Kankana Mukherjee,Energy use efficiency in the Indian manufacturing sector:An interstate analysis.Energy Policy ,2009, (36): 662–672
- [20] Semih Önüt, Selin Soner. Analysis of energy use and efficiency in Turkish manufacturing sector SMEs. Energy Conversion and Managemen, 2008, (48): 384-394
- [21] 韩忠富, 于超. 基于 DEA 的我国能源消费结构效率实证研究. 2008, (9): 1-4
- [22] 冯曹, 程晞, 吕洁. 我国省际能源效率与节能潜力——介绍并应用 DEA 法测度效率. 问题研究, 山东统计, 2009, 5-9
- [23] 李力, 韩丽媛. 基于能源—经济—环境 DEA 分析的我国工业发展效率评价研究.科技管理研究, 2008, (5): 93-95
- [24] 郑畅. 基于 DEA 的能源利用绩效分析——以上海市为实证.上海金融学院学报, 2007, (3): 38-43
- [25] 张引娣, 赵晓明. 基于 DEA 方法的能源利用情况评.电子科技大学(社科版), 2007, (11): 31-33
- [26] 孙立成, 周德群, 李群.能源利用效率动态变化的中外比较研究. 数量经济技术研究, 2008, (8): 57-69
- [27] 李世祥, 成金华. 中国主要工业省区能源利用效率分析:1990~2006 年,数量经济技术经济研究, 2008, (10): 32-43
- [28] Jin-Li Hu,Shih-Chuan Wang. Total-factor energy efficiency of regions in China. Energy Policy, 2006, (34): 3206-3217
- [29] 吴琦, 武春友. 基于 DEA 的能源利用效率评价模型研究. 管理科学, 2009, (2): 103-112
- [30] 孙立成, 周德群, 李群. 基于非径向 DEA 模型的区域环境绩效评价研究. 统计应用研究, 2009, (7): 67-71
- [31] 邓庆彪. 基于超效率 DEA 评价模型的寿险公司绩效分析.求索, 2006, (2): 18-21

- [32] 赵旭. 基于超效率的上市公司投资价值评价.统计与信息论坛, 2007, (9): 71-76
- [33] 杨杰, 宋马林, 叶小榕. 基于数据包络分析(DEA)的中国节能降耗实证研究. 资源开发与市场, 2009, (5): 440-443
- [34] 宣能啸. 我国能源问题分析. 当代石油石化, 2004, (12): 6-9
- [35] Zhi-Yong Han, Ying Fan, Jian-Ling Jiao, Ji-Sheng Yan, Yi-Ming Wei, Energy structure, marginal efficiency and substitution rate: An empirical study of China, Energy. 2007, (32): 935-942.
- [36] 孙晋众, 林建. 人才需求预测指标体系及其实证分析. 沈阳航空工业学校, 2007, (2): 92-94
- [37] Dixon, P.B. and Rimmer, M.T., Dynamic General Equilibrium Modelling for Forecasting and Policy: a Practical Guide and Documentation of MONASH. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 2002.
- [38] Nick D. Hanley , Peter G. McGregor , J. Kim Swales , Karen Turner.The impact of a stimulus to energy efficiency on the economy and the environment: A regional computable general equilibrium analysis.Renewable Energy, 2006, (31): 161-171
- [39] 胡鞍钢. 考虑环境因素的省级技术效率排名(1999-2005).经济学(季刊), 2008, (4): 932-960
- [40] Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes,E..Measuring the Efficiency of Decision Making Units.European Journal of Operation Research, 1978, (3): 392-444
- [41] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算:1952——2000.经济研究, 2004, (10): 35-43.
- [42] 孙鹏, 顾晓薇, 刘敬智, 王青. 中国能源消费的分解分析. 资源科学, 2005, (9): 15-19
- [43] 高振宇, 王益. 我国地区划分及影响因素分析. 数量经济技术经济研究, 2006, (9): 46-57
- [44] Boyd, G.A., McClelland, J.D. The impact of environmental constraints on productivity improvement in integrated paper plants. Journal of Environmental Economics and Management. 1999, (38): 121-142.
- [45] 魏权龄. DEA.数据包络分析.北京:科学出版社, 2004, (2)
- [46] 中华人民共和国国家统计局编. 中国统计年鉴 1999-2008. 北京:中国统计出版社, 2009
- [47] 易丹辉. 数据分析与 Eviews 应用. 北京: 中国统计出版社, 2002, 92-98
- [48] 宋光辉. 统计学教程. 长沙:湖南大学出版社, 2003, (7)

- [49] Yi-Ming Wei,Hua Liao,Ying Fan.An empirical analysis of energy efficiency in China's iron and steel sector.,Energy 2007,(32):2262-2270
- [50] F.L. Liu, B.W. Ang, Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry Applied Energy. 2003, (76): 15–23
- [51] M. Bertocco , B. Basso , L. Sartori , E.C. Martin,Evaluating energy efficiency of site-specific tillage in maize in NE Italy.Bioresource Technology, 2008, (99): 6957–6965
- [52] 韩亚芬, 孙根年, 李琦. 中国经济发展和能源消耗的统计关系与节能潜力分析. 开发研究, 2007, (2): 82-85
- [53] Roll Y,Golany B.Alternative methods of treating factor weights in DEA.Omega, 1993, (1): 21
- [54] Ang, B.W., Liu, N., A cross-country analysis of aggregate energy and carbon intensities. Energy Policy, in press, 2006
- [55] 庞皓. 计量经济学. 成都:西南财经大学出版社, 2002, 18-29
- [56] 史丹.中国经济增长过程中能源利用效率的改进. 经济研究,2003,(1):36-43

## 致 谢

蓦然回首，一转眼三年紧张而又充实硕士研究生学习生涯就快要过去了，心中感慨许多，不自禁地涌起对许多老师和同学的感激之情，在此，谨向他们致以最诚挚的谢意。

回顾论文的写作过程，我首先要感谢我的恩师蔡晓春老师。从论文的选题到撰写再到修改，蔡老师悉心指导，帮我把握思路，使文章能顺利地自成体系；严格督导，使文章能够按时按质地完成；还精心点拨，文章的每一步都倾注了老师的大量心血。蔡老师严谨求实的态度，踏踏实实的精神，平静、和善的处世方式，使我在学习工作生活过程中受益无穷。真诚地感谢蔡老师的无私帮助。

同时，我有幸得到湖南大学统计学院众多老师的指导。在此特向晏艳阳老师、许鹏老师、胡宗义老师、曾昭法老师、周四军老师、王瑛老师、刘再华老师、谭德俊老师、李正辉老师、陈黎明老师、倪青山老师、胡荣才老师、任英华老师、马守荣、孔志周和谭朵朵老师等表示最诚挚的谢意。

我还要特别感谢刘志云老师、陈方军老师等对我的支持与帮助，他们为我的学习和研究提供了极大的方便。论文的顺利完成离不开他们的无私关怀和亲切鼓励。我还要感谢统计学院所有2007级的同学们尤其是我的室友们给我构筑了良好的学习、生活氛围，给我无私的帮助和指点。没有他们中肯的意见和无私的资料，这篇论文是不可能完成的。

特别感谢我的父母，在我的漫漫求学之路上，他们无时不刻都关心着我。他们含辛茹苦的抚养恩情，永远难以报答，只有继续努力，才能不辜负他们的厚望。

最后，感谢所有曾经关心和帮助过我的人们，感恩的心献给你们！

肖小爱

2009 年 11 月

## 附录 论文原始数据

各省 1998~2007 年国内生产总值原始数据(单位: 亿元)

地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京	2376.0	2677.6	3161.0	3710.5	4330.4	5023.8	6060.3	6886.3	7861.0	9353.3
天津	1374.6	1501.0	1701.9	1919.1	2150.8	2578.0	3111.0	3697.6	4344.3	5050.4
河北	4256.0	4514.2	5044.0	5516.8	6018.3	6921.3	8477.6	10096.1	11515.8	13709.5
辽宁	3881.7	4171.7	4669.1	5033.1	5458.2	6002.5	6672.0	7860.9	9214.2	11023.5
上海	3801.1	4188.7	4771.2	5210.1	5741.0	6694.2	8072.8	9164.1	10366.4	12188.9
江苏	7200.0	7697.8	8553.7	9456.8	10606.9	12442.9	15003.6	18305.7	21645.1	25741.2
浙江	5052.6	5443.9	6141.0	6898.3	8003.7	9705.0	11648.7	13437.9	15742.5	18780.4
福建	3159.9	3414.2	3764.5	4072.9	4467.6	4983.7	5763.4	6568.9	7584.4	9249.1
山东	7021.4	7493.8	8337.5	9195.0	10275.5	12078.2	15021.8	18516.9	22077.4	25965.9
广东	8530.9	9250.7	10741.3	12039.3	13502.4	15844.6	18864.6	22366.5	26159.5	31084.4
海南	442.1	476.7	526.8	558.4	622.0	693.2	798.9	894.6	1031.9	1223.3
广西	1911.3	1971.4	2080.0	2279.3	2523.7	2821.1	3433.5	4075.8	4828.5	5955.7
山西	1611.1	1667.1	1845.7	2029.5	2324.8	2855.2	3571.4	4179.5	4715.0	5733.4
吉林	1577.1	1673.0	1951.5	2120.4	2348.5	2662.1	3122.0	3620.3	4275.1	5284.7
黑龙江	2774.4	2866.3	3151.4	3390.1	3637.2	4057.4	4750.6	5511.5	6201.5	7065.0
安徽	2543.0	2712.3	2902.1	3246.7	3519.7	3923.1	4759.3	5375.1	6131.1	7364.2
江西	1719.9	1853.7	2003.1	2175.7	2450.5	2807.4	3456.7	4056.8	4670.5	5500.3
河南	4308.2	4517.9	5053.0	5533.0	6035.5	6867.7	8553.8	10587.4	12362.8	15012.5
湖北	3114.0	3229.3	3545.4	3880.5	4212.8	4757.5	5633.2	6520.1	7581.3	9230.7
湖南	3025.5	3214.5	3551.5	3831.9	4151.5	4660.0	5641.9	6511.3	7508.9	9200.0
内蒙古	1262.5	1379.3	1539.1	1713.8	1940.9	2388.4	3041.1	3895.6	4841.8	6091.1
四川	4914.7	5141.1	5531.4	6059.2	6715.0	7605.9	9072.4	10452.0	12090.0	14627.8
贵州	858.4	937.5	1029.9	1133.3	1243.4	1426.3	1677.8	1979.1	2270.9	2741.9
云南	1831.3	1899.8	2011.2	2138.3	2312.8	2556.0	3081.9	3472.9	3981.3	4741.3
陕西	1458.4	1592.6	1804.0	2010.6	2253.4	2587.7	3175.6	3772.7	4520.1	5465.8
甘肃	887.7	956.3	1052.9	1125.4	1232.0	1399.8	1688.5	1934.0	2276.7	2702.4
青海	220.9	239.4	263.7	300.1	340.7	390.2	466.1	543.3	639.5	783.6
宁夏	245.4	264.6	295.0	337.4	377.2	445.4	537.2	606.3	710.8	889.2
新疆	1107.0	1163.2	1363.6	1491.6	1612.7	1886.4	2209.1	2604.2	3045.3	3523.2

各省 1998~2007 年工业废气排放总量原始数据 (单位: 亿标准立方米)

地 区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北 京	3227	3083	3227	3035	2966	3005	3198	3532	4641	5146
天 津	1644	1570	1749	2859	3677	4360	3058	4602	6512	5506
河 北	9506	9032	9858	11457	12743	15768	21696	26518	39254	48036
辽 宁	8963	8880	9432	10042	10042	12774	13015	20903	27195	23946
上 海	4912	4947	5755	6964	7440	7799	8834	8482	9428	9591
江 苏	7318	8343	9078	13344	14286	14633	17818	20197	24881	23585
浙 江	5016	5417	6509	8530	8532	10432	11749	13025	14702	17467
福 建	2007	2321	2828	3305	3565	4189	5020	6265	6884	9153
山 东	9089	9841	12179	14453	14306	16139	20357	24129	25751	31341
广 东	6344	7165	8326	9456	10579	11075	12543	13447	13584	16939
海 南	327	341	434	502	528	533	634	910	860	1115
广 西	4152	4397	4607	5461	5693	6636	10656	8339	8969	12724
山 西	6316	6287	6635	8027	9402	12849	13351	15142	18128	21429
吉 林	3008	3008	3082	3237	3516	3869	4316	4939	5352	5730
黑 龙 江	4053	4059	4326	4617	4628	4841	4968	5261	5991	7283
安 徽	3647	3682	3945	4808	5119	5383	5934	6960	8677	13254
江 西	1743	1934	2220	2231	2612	3202	3972	4379	5096	6103
河 南	6618	6943	7436	9239	10645	11992	13103	15498	16770	18890
湖 北	5105	5566	5674	5820	6440	6707	8838	9404	11015	10373
湖 南	3452	3787	3569	3960	4190	4603	5527	6014	5986	8762
内 蒙 古	4504	5023	4768	4959	5998	7961	13518	12071	18415	18200
四 川	6319	6510	6687	7406	9266	8911	11007	11795	17310	30587
贵 州	3347	3845	3882	3629	3515	3477	4182	3852	8344	10356
云 南	1887	2268	2749	3346	3659	4197	4940	5444	6646	8082
陕 西	2497	2337	2379	2858	3424	3861	4374	4916	5535	6469
甘 肃	2772	2659	2800	2793	2972	4033	3690	4250	4761	5818
青 海	589	606	607	846	937	1002	1238	1370	2099	2492
宁 夏	1041	1102	1445	1312	1631	1727	2338	2844	3140	3981
新 疆	1790	1839	1944	2353	2512	2934	3806	4485	5053	5797

各省 1998~2007 年煤炭消费总量的原始数据 (单位: 万吨)

地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京	2678.0	2651.0	2719.8	2675.0	2531.0	2674.0	2939.4	3069.0	3055.7	2984.7
天津	2325.0	2289.0	2472.7	2635.0	2929.0	3205.3	3508.6	3801.5	3809.3	3926.7
河北	11416.0	11642.0	12115.1	12641.0	13739.0	14851.4	17074.0	20542.4	21345.4	24548.5
辽宁	8682.0	8462.0	9582.2	9084.0	9355.0	10453.8	11945.0	13069.7	14211.3	15224.3
上海	4187.0	4225.0	4496.1	4610.0	4737.0	5017.5	5144.3	5324.5	5143.1	5259.5
江苏	8571.0	8714.0	8769.8	8963.0	9663.0	10848.8	13272.1	16778.6	18427.7	19951.8
浙江	4653.0	4774.0	5384.8	5527.0	6595.0	7266.7	8361.8	9680.8	11334.4	13024.1
福建	1790.0	1987.0	2159.6	2205.0	2711.0	3272.0	3806.1	4857.1	5395.1	6117.2
山东	9922.0	9955.0	8698.4	11098.0	12938.0	15165.7	18270.1	25247.9	29001.3	31702.8
广东	5087.0	5284.0	5890.2	6088.0	6649.0	7910.3	8790.2	9942.4	11126.0	12594.0
海南	169.0	179.0	191.6	304.3	387.0	439.6	477.3	341.6	332.2	414.1
广西	2106.0	2117.0	2228.4	2228.0	2133.0	2621.5	3366.7	3734.0	4172.9	4772.1
山西	15281.0	13756.0	14262.5	14856.0	18055.0	20501.9	22432.7	25681.4	28351.2	29203.5
吉林	4182.0	4243.0	4212.7	4484.0	4664.0	5202.1	5715.0	6802.5	7548.8	7846.6
黑龙江	5963.0	5687.0	5815.2	5537.0	5543.0	6490.5	7347.4	8559.7	9025.0	9852.6
安徽	5383.0	5513.0	5909.4	6366.0	6679.0	7488.6	7823.1	8339.6	8830.5	9783.7
江西	2408.0	2435.0	2468.6	2584.0	2557.0	3088.6	3943.9	4242.9	4592.3	5170.0
河南	8063.0	8299.0	8724.9	9325.0	10333.0	11420.0	14937.6	18467.9	21002.8	23171.0
湖北	5911.0	5993.0	6050.6	6096.0	6483.0	7238.5	8053.7	8652.6	9651.6	10534.6
湖南	4785.0	3618.0	3335.4	4100.0	4287.0	4984.3	6039.8	8739.3	9438.5	10277.4
内蒙古	5282.0	5525.0	5908.0	6265.0	6864.0	9024.6	11391.4	13921.8	16188.9	18531.5
四川	8749.0	7913.0	7804.0	7386.0	8515.0	9900.2	11093.1	11127.1	12267.3	13528.8
贵州	5522.0	5028.0	5146.3	4946.0	5199.0	6793.6	7993.7	8651.4	9939.0	10630.4
云南	3162.0	2960.0	3062.0	3101.0	3556.0	4613.5	5688.5	6681.5	7482.0	7620.5
陕西	3509.0	2998.0	2765.7	3133.0	3451.0	3960.7	4958.1	6049.1	7400.1	7893.8
甘肃	2374.0	2395.0	2480.4	2551.0	2798.0	3218.5	3479.3	3750.7	3959.1	4455.2
青海	538.0	637.0	522.2	642.0	620.0	675.4	680.1	699.0	912.4	1058.2
宁夏	1087.0	1042.0	1041.9	1234.7	1378.0	2965.1	2761.2	3248.9	3489.6	4135.0
新疆	2604.0	2580.0	2702.4	2734.0	2898.0	3184.1	3631.8	3859.9	4436.2	4943.7

各省 1998~2007 年石油消费原始数据 (单位: 万吨)

地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京市	1039.3	1112.2	1149.7	1150.4	1225.0	1037.2	1389.5	1430.9	1533.7	1787.6
天津市	860.2	958.3	1118.1	1147.9	1058.8	1183.3	1260.2	1353.1	1398.8	1460.1
河北省	1015.1	1062.9	1117.7	1038.9	1078.4	1231.4	1378.4	1727.9	1855.1	1961.1
辽宁省	3576.6	3897.8	4600.7	4873.2	4986.0	5267.0	5982.4	6518.7	6802.0	7291.7
上海市	1747.5	1927.6	2169.3	2276.3	2502.3	2947.6	3236.0	3528.2	3540.3	3580.5
江苏省	1781.5	1876.7	2150.4	2098.0	2268.4	2698.9	3096.1	3479.3	3558.9	3800.9
浙江省	1340.5	1514.5	1936.7	2011.5	2176.4	2529.3	3076.8	3629.3	3649.4	3847.0
福建省	602.7	640.8	737.9	713.1	797.1	887.6	1014.9	1111.6	1173.7	1257.7
山东省	2257.3	2265.6	2696.1	2620.4	2366.3	3199.7	4313.3	5244.6	5967.8	6334.7
广东省	3206.0	3569.9	4055.3	4219.7	4412.0	4767.4	5527.4	6155.0	6675.8	6703.6
海南省	95.7	113.4	129.3	133.6	146.6	159.6	162.2	161.8	403.5	1006.9
广西省	233.2	233.8	286.2	286.2	393.4	438.9	532.7	612.1	659.8	746.1
山西省	188.6	188.2	188.3	218.5	232.3	246.2	288.7	359.1	400.7	423.3
吉林省	944.0	954.7	921.3	924.7	949.8	1114.2	1095.9	1446.9	1498.5	1641.2
黑龙江	2011.6	2266.0	2399.1	2373.0	2335.5	2419.3	2454.7	2617.4	2727.8	2810.9
安徽省	533.5	557.1	605.2	556.4	588.0	646.7	719.9	745.4	815.3	849.7
江西省	421.3	475.4	531.4	518.8	590.3	670.4	680.3	772.8	832.0	791.1
河南省	836.8	900.8	958.4	959.1	960.9	418.9	1291.2	1325.2	1378.7	1465.1
湖北省	1031.9	1136.3	1225.2	1092.5	1211.0	1404.7	1540.9	1778.0	1929.8	2230.9
湖南省	631.4	756.0	851.1	728.8	840.2	880.3	1067.6	1270.4	1242.7	1403.1
内蒙古	236.1	248.9	292.3	328.0	342.9	419.2	585.6	729.9	859.1	972.0
四川省	465.0	527.6	531.6	605.1	640.9	718.4	939.1	1030.8	1215.8	1456.0
贵州省	97.3	109.2	121.2	140.5	149.7	175.8	188.7	225.4	270.3	313.2
云南省	198.6	211.3	176.7	255.2	304.4	339.3	381.3	439.5	499.6	581.6
陕西省	604.3	717.6	819.4	927.1	1094.9	1231.1	1504.0	1658.6	1957.4	2178.4
甘肃省	1017.0	1012.1	1132.8	1147.3	1139.6	1223.4	1360.4	1451.8	1547.8	1654.3
青海省	93.1	97.9	104.8	106.5	101.4	110.4	126.4	137.4	151.6	177.1
宁夏省	139.1	147.5	147.5	174.0	200.4	288.0	271.6	258.8	274.8	266.0
新疆省	1365.9	1298.5	1406.4	1405.1	1435.1	1524.2	1659.5	2081.7	2322.7	2431.8

各省 1998~2007 年资本存量原始数据 (单位: 亿元)

地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京	5938.7	6493.1	7041.0	8409.0	10032.7	11993.7	14279.2	16835.0	19815.0	23347.1
天津	3369.0	3616.7	3846.0	4483.3	5213.3	6152.9	7279.0	8630.6	10276.3	12403.5
河北	7680.4	8534.8	9486.0	11214.9	13041.3	15281.5	18191.2	21933.5	26878.6	33102.4
辽宁	6756.3	7165.4	7597.0	8881.8	10333.2	12210.3	14903.9	18701.0	23844.4	30565.8
上海	8780.5	9904.0	10809.0	12621.2	14622.3	16881.5	19639.0	22811.8	26337.4	30333.4
江苏	13441.9	14601.9	15642.0	18194.2	21313.1	26043.7	31971.3	39352.8	48455.4	59545.8
浙江	8824.1	9778.7	10798.0	13360.7	16504.4	20789.6	26015.9	31910.1	38771.6	46383.7
福建	5193.7	5748.1	6281.0	7341.3	8474.1	9826.8	11538.0	13632.3	16327.9	20204.0
山东	13122.1	13798.0	14694.0	17215.0	20363.9	25168.7	31470.2	39884.0	49928.7	61262.7
广东	13162.7	14543.1	16084.0	19233.9	22715.0	27066.2	32372.6	38680.7	45888.6	54290.7
海南	1130.0	1194.9	1275.0	1467.8	1671.6	1924.7	2211.3	2543.2	2926.4	3380.6
广西	2836.3	3126.3	3405.0	3997.7	4675.9	5508.8	6626.6	8128.3	10115.9	12773.4
山西	2834.2	3017.0	3205.0	3804.9	4540.2	5535.4	6840.7	8492.0	10531.1	13117.9
吉林	3036.7	3177.0	3372.0	4006.3	4760.5	5636.4	6693.3	8267.3	10612.5	13913.4
黑龙江	5270.5	5534.6	5755.0	6626.1	7571.9	8626.1	9919.5	11490.1	13511.4	16072.9
安徽	4936.6	5185.3	5391.0	6198.6	7170.0	8452.5	10201.9	12484.6	15679.0	20278.1
江西	3015.7	3126.8	3281.0	3852.1	4655.8	5833.9	7382.6	9350.3	11776.2	14761.2
河南	7650.7	8206.0	8625.0	10020.9	11581.1	13626.8	16428.7	20326.4	25664.2	32905.4
湖北	3548.8	4364.9	5185.0	6528.9	7979.9	9615.7	11663.1	14082.7	17105.2	21019.9
湖南	5038.7	5351.9	5722.0	6783.6	8002.2	9439.8	11313.4	13690.1	16560.8	20316.7
内蒙古	2234.9	2337.2	2461.0	2916.3	3556.2	4618.1	6234.5	8624.3	11664.6	15617.7
四川	8594.1	9407.4	10254.0	12346.3	14879.3	18041.3	21978.6	26967.2	33132.8	41058.6
贵州	2102.8	2179.3	2282.0	2766.5	3338.8	4015.1	4797.2	5699.7	6782.1	8128.0
云南	3514.4	3837.4	4133.0	4800.6	5537.0	6441.1	7608.6	9215.6	11212.1	13706.3
陕西	3907.5	4050.0	4249.0	4948.2	5775.6	6861.0	8225.1	9926.6	12169.1	15256.3
甘肃	1287.2	1465.2	1680.0	2096.2	2571.9	3132.2	3795.6	4582.5	5506.9	6685.9
青海	640.5	687.8	739.0	916.5	1126.6	1357.7	1619.1	1917.3	2286.6	2723.0
宁夏	728.5	765.4	820.0	992.8	1198.0	1485.4	1825.5	2226.3	2677.1	3219.3
新疆	3280.6	3480.4	3673.0	4311.2	5034.5	5914.5	6951.4	8162.0	9578.7	11251.8

各省 1998~2007 年从业人员原始数据 (单位: 万元)

地区	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京	624.0	622.0	622.0	630.0	799.0	858.6	895.0	920.4	1076.4	1111.4
天津	427.0	421.0	407.0	411.0	403.0	419.7	422.0	426.9	414.8	432.7
河北	3383.0	3340.0	3441.0	3380.0	3386.0	3389.5	3416.4	3467.3	3517.3	3567.2
辽宁	1818.0	1796.0	1813.0	1833.0	1842.0	1861.3	1951.6	1978.6	2025.0	2071.3
上海	670.0	677.0	673.0	692.0	743.0	771.5	812.3	855.9	866.3	876.6
江苏	3635.0	3596.0	3559.0	3565.0	3506.0	3610.3	3719.7	3877.7	4035.5	4193.2
浙江	2651.0	2661.0	2700.0	2772.0	2835.0	2961.9	3092.0	3202.9	3409.2	3615.4
福建	1622.0	1631.0	1660.0	1678.0	1711.0	1756.7	1817.5	1868.5	1933.7	1998.9
山东	4657.0	4699.0	4662.0	4672.0	4752.0	4850.6	4939.7	5110.8	5186.5	5262.2
广东	3737.0	3761.0	3861.0	3963.0	3967.0	4119.5	4316.0	4702.1	4997.5	5292.8
海南	321.0	326.0	334.0	340.0	342.0	353.8	366.5	377.7	396.3	414.8
广西	2471.0	2482.0	2530.0	2543.0	2571.0	2601.4	2649.1	2703.1	2731.4	2759.6
山西	1429.0	1434.0	1419.0	1413.0	1417.0	1469.5	1474.6	1476.4	1513.3	1550.1
吉林	1127.0	1103.0	1079.0	1057.0	1095.0	1044.6	1115.6	1099.4	1097.8	1096.2
黑龙江	1723.0	1680.0	1635.0	1631.0	1626.0	1622.4	1623.3	1625.8	1642.9	1659.9
安徽	3311.0	3313.0	3373.0	3390.0	3404.0	3416.0	3453.2	3484.7	3541.2	3597.6
江西	1971.0	1961.0	1935.0	1933.0	1955.0	1972.3	2039.8	2107.5	2151.6	2195.6
河南	5000.0	5205.0	5572.0	5517.0	5522.0	5535.7	5587.4	5662.4	5717.6	5772.7
湖北	2616.0	2572.0	2508.0	2452.0	2467.0	2537.3	2588.6	2676.3	2719.7	2763.0
湖南	3499.0	3496.0	3462.0	3439.0	3469.0	3515.9	3599.6	3658.3	3703.8	3749.3
内蒙古	1007.0	1017.0	1017.0	1013.0	1010.0	1005.2	1019.1	1041.1	1061.3	1081.5
四川	6180.0	6121.0	6072.0	6039.0	6049.0	6109.1	6192.9	6324.3	6446.2	6568.1
贵州	1946.0	1976.0	2046.0	2068.0	2081.0	2118.4	2168.8	2215.8	2249.4	2283.0
云南	2270.0	2273.0	2295.0	2323.0	2341.0	2349.6	2401.4	2461.3	2531.1	2600.8
陕西	1802.0	1781.0	1813.0	1785.0	1873.0	1911.3	1884.7	1882.9	1902.5	1922.0
甘肃	1176.0	1186.0	1182.0	1187.0	1255.0	1304.0	1321.7	1347.6	1361.0	1374.4
青海	230.0	241.0	239.0	240.0	247.0	254.3	263.1	267.6	272.0	276.3
宁夏	260.0	271.0	274.0	278.0	282.0	290.6	298.1	299.6	304.6	309.5
新疆	678.0	670.0	672.0	685.0	701.0	721.3	744.5	764.3	782.6	800.8