



ZHONGGUO  
NENGYUAN XIAOLV DE  
XITONG FENXI

# 中国能源效率的 系统分析

董 锋◎著



经济科学出版社  
Economic Science Press

本书得到国家自然科学基金（41101569）和  
江苏省社科基金（11EYC023）资助

# 中国能源效率的系统分析

董 锋 著



经济科学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

中国能源效率的系统分析 / 董锋著. —北京: 经济科学出版社, 2012. 10

ISBN 978 - 7 - 5141 - 2489 - 7

I. ①中… II. ①董… III. ①能源效率 - 系统分析 - 中国 IV. ①F206

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 230531 号

责任编辑: 段 钢

责任校对: 刘欣欣

版式设计: 齐 杰

责任印制: 邱 天

## 中国能源效率的系统分析

董 锋 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 88191217 发行部电话: 88191537

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

北京季蜂印刷有限公司印装

710 × 1000 16 开 11 印张 200000 字

2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 2489 - 7 定价: 36.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 88191502)

(版权所有 翻印必究)

# 序

我国政府在“十一五”规划中明确提出单位 GDP 能耗相较“十五”末期降低 20% 的目标，经过努力在“十一五”末年我国基本完成了这一节能目标，但是完成的进程却难以谈得上顺利，甚至少数地方出现了为完成目标采取的“逆向选择”行为。在 2009 年末的哥本哈根联合国气候大会上，我国政府向世界庄严承诺到 2020 年单位 GDP 二氧化碳排放量相较 2005 年下降 40% - 45%。化石能源的使用是二氧化碳排放的主要根源，因此二氧化碳排放的减少与降低单位 GDP 能耗、提高能源效率密不可分。为此在“十二五”规划中，我国政府提出了更加具体的包含节能减排和环境保护的综合能源环境发展目标：j 单位 GDP 二氧化碳排放降低 17%，k 非化石能源占一次能源消费比重提高 3.1 个百分点，从 8.3% 到 11.4%，l 单位国内生产总值能耗下降 16%，m 主要污染物排放总量减少 8 到 10%。可以说所有这些目标的达成都与提高能源效率有着密切的联系。

董锋同志从南京航空航天大学经济与管理学院毕业后，目前在中国矿业大学管理学院能源经济与管理研究所工作。作为一名青年教师，他是较早涉足能源经济领域的学者之一，近年

来一直致力于能源经济与管理方面的科研工作。这本著作是他对前期研究的一个系统性思考与总结，从两条线索对中国能源效率的变化和影响因素进行分析：一条线索是传统的单位 GDP 能耗指标；一条线索是考虑环境因素的全要素能源效率。该书在概念辨析、指标构建、计量研究等方面开展了积极的探索，提出了一系列有益的对策建议，相信会丰富和补充能源效率的相关研究。

能源经济与管理问题是当下的热点研究方向，我们高兴地看到越来越多的青年学者加入这支研究队伍，体现了青年人的一种时代担当精神，希望出现更多的带有中国情景的类似研究成果，为能源经济与管理研究走向世界，为我国能源安全和节能减排事业作出更大贡献。

周德群

2012年8月

# 前 言

我国人均能源拥有量只有世界平均水平的 45%，按照 2004 年 OECD 国家人均能耗标准和我国能源预期供给能力，我国 2050 年能源供需相差 70 亿吨标准煤。从能源禀赋、能源供需情况、能源安全角度考虑我国都必须以较低的能源消费增长率支持到本世纪中叶每年 7% ~ 8% 的经济增长速度，必须发挥“第四种能源”——能源效率的作用。而我国当前的能源效率却不高，按汇率计算 2007 年单位 GDP 能耗是 OECD 国家的 4.17 倍，按购买力平价法计算是 OECD 国家的 1.12 倍。本书正是基于这一现实，从两条线索来研究中国能源效率变化情况及其影响因素，一条线索是考虑环境因素的全要素能源效率，一条线索是能源强度（能源生产率指标和能源强度指标互为倒数）。本书的主要研究内容有：

(1) 中国能源消费量（GDP 总能耗）预测模型。基于灰色关联分析方法从众多变量中选出与中国能源消费量灰色关联度最高的政府财政用于科学研究的支出、第三产业比重和外贸依存度分别表征技术进步、产业结构和对外开放程度。运用协整分析方法，本书对中国能源消费量、GDP、技术进步等五个变量之间的长期均衡关系进行研究并建立误差修正模型，即

GDP 总能耗预测模型。协整关系模型表明能源消费量的长期技术进步弹性为  $-0.0072$ ，产业结构变化弹性为  $-0.7245$ ，对外开放程度弹性为  $0.5791$ 。

(2) 包含环境因素的各省区全要素能源效率分析。投入方面有能源消费量、农作物播种面积、资本存量、人力资本，其中人力资本考虑了劳动者素质因素，产出有 GDP 和利用熵值法计算得出的环境污染指数倒数。1995 ~ 2006 年 12 年平均，全国全要素能源效率从高到低排列为：东部、东北、中部、西部。 $\alpha$  收敛、绝对  $\beta$  收敛和条件  $\beta$  收敛方法研究结果表明各区域全要素能源效率都存在收敛。用 Tobit 回归方法研究的全要素能源效率影响因素结果表明第三产业比、技术进步、对外开放程度、就业人口增长率与全要素能源效率存在显著正相关，重工业增加值与工业增加值之比、能源结构、能源禀赋与全要素能源效率存在负相关。

(3) 技术进步各组成部分对能源效率（能源生产率表征）的影响。用包含能源投入和环境污染产出的全要素生产率指数（Malmquist 指数）将中国各省份技术进步分解为代表“硬”技术进步的科技进步指数和代表“软”技术进步的纯技术效率指数和规模效率指数，面板计量回归方法研究的技术进步各组成部分对能源效率的影响结果表明科技进步对能源效率改善贡献率最大，纯技术效率和规模效率贡献率大致相当，而从区域来看技术进步三大组成部分对能源效率的提高程度，东北和中部要大于东部和西部。

(4) 中国能源强度及其影响因素的协整分析。运用时间序列协整分析方法研究了中国能源强度和产业结构、技术进步、对外开放程度等三个变量之间的长期均衡关系，得出中

国能源强度的协整方程和误差修正模型并进行脉冲响应函数分析和方差分解。结果表明第三产业比每提高一个百分点，中国能源强度会下降 0.1033（单位：吨标准煤/万元），R&D 技术知识存量每增加 100 亿元，中国能源强度会下降 0.0922，GDP 与 GNP 之差每增加 100 亿元，中国能源强度会下降 0.1488。

(5) 中国区域能源强度及其影响因素的面板协整分析。选择因变量为 1995~2006 年各省能源强度 (LIEC)、第三产业比 (LPTI, 表征产业结构)、政府财政支出中的科学技术投入 (LSS, 表征技术进步)、外贸依存度 (LFTD, 表征对外开放程度)。面板数据单位根检验和协整检验表明全国和四大经济区域, LIEC、LPTI、LSS、LFTD 均为一阶单整变量, 四变量存在长期协整关系。回归结果表明: 四大经济区域产业结构变化对能源强度降低的贡献率, 东北最大, 东部其次, 中部最低, 西部为正影响; 技术进步对能源强度降低的贡献率, 东部最大, 西部其次, 中部最低; 对外开放程度对能源强度降低的贡献率, 中部最大, 西部其次, 东北最低, 中部为正影响。

(6) 能源强度的 Laspeyres 分解。总能源强度变化来源于三个部分, 一是产业结构调整引起的能源强度变化 (结构调整因素), 二是技术进步、对外开放等因素导致的各产业部门能效提高引起的能源强度变化 (效率因素), 三是生活用能总量和利用水平发生变化导致的能源强度变化 (生活用能因素)。改进的 Laspeyres 分解结果显示 1985~2007 年在总能源强度的降低中, 效率因素做出最大贡献, 分解结果也解释了 2002~2005 年我国总能源强度反常上升的原因。



4 ..... 中国能源效率的系统分析

由于作者水平有限，书中难免有疏漏和错误，恳请读者批评指正，在此谨致衷心谢意！

作者

2012年8月

# 目 录

第1章 绪 论	1
1.1 研究背景和研究意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	6
1.2 国内外研究现状	7
1.2.1 能源消费与经济增长的关系	8
1.2.2 能源效率的定义及度量问题	11
1.2.3 能源强度的分解	12
1.2.4 基于数据包络分析方法的全要素能源效率	14
1.2.5 能源效率的影响因素	17
1.2.6 能耗控制问题	20
1.2.7 文献述评	22
1.3 研究设计	23
1.3.1 能源效率相关指标解释	23
1.3.2 研究思路和研究内容	24
1.3.3 研究方法和技术路线	26
第2章 中国能源消费量（GDP总能耗）预测模型	29
2.1 基于灰色关联分析的变量选择	31
2.1.1 灰色关联分析方法	31
2.1.2 变量的初选	32

2 .....	中国能源效率的系统分析	
2.1.3	三大类变量与中国能源消费量的灰色综合关联度 .....	33
2.2	协整检验和误差修正模型 .....	34
2.2.1	单位根检验 .....	34
2.2.2	协整检验 .....	36
2.2.3	Granger 因果关系检验 .....	37
2.2.4	短期中国能源消费量预测：误差修正模型（ECM） .....	38
2.2.5	基于误差修正模型的脉冲响应函数 .....	40
2.3	本章小结 .....	41
<b>第3章</b>	<b>全要素能源效率分析</b> .....	<b>43</b>
3.1	DEA 分析方法 .....	43
3.2	数据来源、变量测算与处理 .....	44
3.3	中国各省区市全要素能源效率分析 .....	50
3.3.1	全要素能源效率具体结果 .....	50
3.3.2	全要素能源效率的分解 .....	53
3.4	全要素能源效率收敛性分析 .....	55
3.4.1	分析方法 .....	55
3.4.2	分析结果 .....	57
3.5	全要素能源效率的影响因素分析 .....	60
3.6	本章小结 .....	64
<b>第4章</b>	<b>技术进步对能源效率的影响</b> .....	<b>66</b>
4.1	Malmquist 生产率指数 .....	67
4.2	变量选取和数据处理 .....	69
4.3	实证结果 .....	69
4.3.1	全要素生产率指数变动的总体分析 .....	69
4.3.2	各地区平均 Malmquist 生产率指数及其分解 .....	71
4.4	技术进步对能源效率影响的面板计量分析 .....	73
4.5	本章小结 .....	77

第 5 章 中国能源强度及其影响因素的协整分析 .....	79
5.1 研究方法和指标选取 .....	81
5.1.1 协整研究方法 .....	81
5.1.2 指标选取 .....	82
5.2 协整检验 .....	83
5.2.1 单位根检验 .....	83
5.2.2 协整检验 .....	84
5.2.3 Granger 因果关系检验 .....	85
5.2.4 短期中国能源强度预测: 误差修正模型 (ECM) .....	86
5.3 基于 VAR 模型的脉冲响应函数和方差分解 .....	89
5.4 本章小结 .....	92
第 6 章 中国区域能源强度的影响因素分析 .....	93
6.1 根据能源强度和人均 GDP 的区域聚类 .....	94
6.2 研究方法 .....	97
6.2.1 面板数据单位根检验 .....	97
6.2.2 面板数据协整检验 .....	99
6.2.3 数据来源和模型建立 .....	100
6.3 实证结果及分析 .....	101
6.3.1 面板数据单位根检验结果 .....	101
6.3.2 面板数据协整检验结果 .....	105
6.3.3 模型估计 .....	106
6.3.4 结果分析 .....	107
6.3.5 影响区域能源强度的短期因素分析 (误差修正模型) .....	109
6.4 本章小结 .....	111
第 7 章 能源强度的 Laspeyres 分解 .....	113
7.1 因素分解方法 .....	114
7.1.1 Divisia 参数法 .....	114
7.1.2 能源强度的 Divisia 分解方法 .....	116

4 .....	中国能源效率的系统分析	
7.1.3	能源强度的 LMDI 分解方法 .....	116
7.1.4	能源强度的 Laspeyres 分解方法 .....	117
7.2	分解结果及分析 .....	118
7.2.1	相关数据 .....	118
7.2.2	分解结果 .....	121
7.3	本章小结 .....	125
<b>第 8 章</b>	<b>提高中国能源效率、降低能耗的政策建议 .....</b>	<b>126</b>
8.1	国外主要国家节能降耗政策 .....	126
8.1.1	日本的节能降耗政策 .....	126
8.1.2	美国的节能降耗政策 .....	128
8.1.3	英国的节能降耗政策 .....	129
8.2	中国宏观能源效率政策回顾 .....	130
8.3	制约我国能源效率提高的内在障碍 .....	132
8.4	提高中国能源效率、降低能耗的政策建议 .....	133
8.5	本章小结 .....	138
<b>第 9 章</b>	<b>研究结论与展望 .....</b>	<b>139</b>
9.1	主要研究结论 .....	139
9.2	创新之处 .....	142
9.3	研究不足与展望 .....	143
	参考文献 .....	146
	英文人名翻译表 .....	161
	后 记 .....	163

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 研究背景和研究意义

### 1.1.1 研究背景

《中华人民共和国国民经济和社会发展“十一五（2006 - 2010）”规划纲要》除了要求我国 2010 年人均 GDP 比 2000 年翻一番外，还明确提出 2010 年我国单位 GDP 能耗要比“十五”末期降低 20%。“十一五”规划要求的人均 GDP 翻一番的目标我国已经提前实现，但是单位 GDP 能耗降低目标的实现却不容乐观。2005 年我国单位 GDP 能耗为 1.226 吨标准煤/万元（GDP 为 2005 年不变价格），按照降低 20% 目标，2010 年我国单位 GDP 能耗应为 0.981 吨标准煤/万元，年均降低应为 4.4%，但是 2006 年、2007 年、2008 年我国实际单位 GDP 能耗分别为 1.204、1.148、1.1 吨标准煤/万元（2005 年不变价格），较上年分别下降 1.83%、4.60%、4.23%，三年累计降低之和为 10.41%。要在剩下的 2009 年和 2010 年完成单位 GDP 能耗降低 20% 目标，节能减耗任务

艰巨<sup>①</sup>。

当然在我国经济社会发展过程中，能源利用效率改善取得的成就有目共睹，1981~2000年我国能源消费量以只翻一番的成绩支持GDP翻两番，创造了世界能源经济发展史上的奇迹。1978~2007年我国能源消费量年均增长5.44%，而同期我国GDP年均增长9.79%（不变价格），能源消费弹性系数仅为0.56，这说明改革开放30多年来我国能源需求很大部分是依靠能源效率提高的途径满足。

从图1.1可以看出我国能源经济发展的几个阶段，1983年我国能源生产和能源消费、GDP指数开始显著分离，此后GDP增长远快于能源生产和能源消费增长速度；从1992年开始我国能源消费量超过能源生产量，我国主要依靠石油进口来弥补能源供给的不足，从1993年起我国成为石油净进口国；1996年后我国能源消费量和能源生产量都出现下降趋势，能源消费量的下降是由于我国能源利用效率的显著提高，能源生产量的下降是由于国家在此期间关停了一大批小煤窑；2000年后我国能源生产量和消费量又出现上升，其中2003年后上升急剧，这种急剧上升带来我国单位GDP能耗在2003~2005年的反常上升。

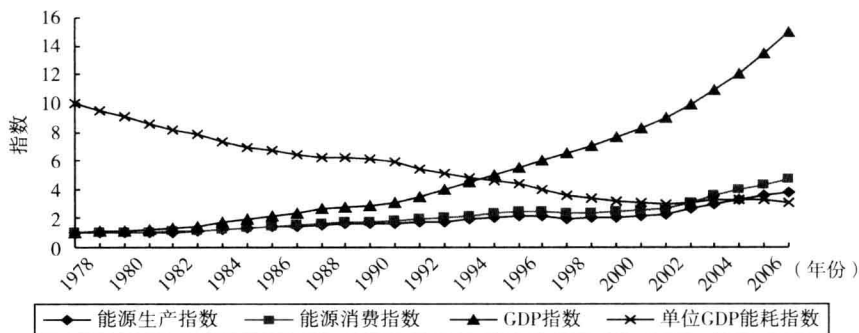


图 1.1 能源生产、能源消费、GDP、单位 GDP 能耗指数

注：以 1978 为基数，能源生产、能源消费、GDP 指数基数为 1，单位 GDP 能耗基数为 10。

<sup>①</sup> 因本书写作时间是在 2009 年，因此单位 GDP 能耗数据只统计到 2008 年。

我国的单位 GDP 能耗到底有多高，表 1.1 是分别按照汇率法和购买力平价法（PPP）计算的我国单位 GDP 能耗和世界主要国家的比较。

**表 1.1 世界单位 GDP 能耗比较（2007 年）**

国家和地区	单位 GDP 能耗 (吨油当量/千美元)	单位 GDP 能耗 (吨油当量/千国际元)
	(汇率法)	(PPP 法)
中国	0.75	0.19
美国	0.20	0.20
俄罗斯	1.65	0.42
英国	0.12	0.12
法国	0.18	0.15
德国	0.16	0.14
意大利	0.15	0.11
日本	0.10	0.14
澳大利亚	0.24	0.19
OECD 国家	0.18	0.17
世界	0.30	0.20

资料来源：IEA, Key World Energy Statistic (2009), Energy Indicators for 2007, 其中 GDP 为 2000 年不变价格。

从表 1.1 可以看出，按汇率算法，我国单位 GDP 能耗是经合组织（OECD）国家的 4.17 倍，是世界平均水平的 2.5 倍；按购买力平价算法，我国单位 GDP 能耗是 OECD 国家的 1.12 倍，是世界平均水平的 0.95 倍。我国单位 GDP 能耗只低于能源丰度比我国高很多的俄罗斯，尤其与 OECD 发达国家有比较大的差距。

虽然我国在改革开放 30 多年来创造了能源利用的奇迹，但是现实情况却不容乐观，这首先由我国的资源禀赋和能源结构决定。从总量来说，我国是能源大国，我国能源总储量位居世界第三，但我国人口众多，从人均能源来看我国又是能源小国，表 1.2 是根据《世界能源统计



年鉴 2009》计算的世界主要国家人均能源储量。

表 1.2 世界主要国家人均能源储量比较 (2007 年)

国 家	原煤人均可开采储量 (吨/人)	天然气人均可开采储量 (万立方米/人)	原油人均可开采储量 (桶/人)
中国	86.28	0.17	12.13
美国	788.86	2.23	100.96
俄罗斯	1108.51	30.58	567.64
英国	2.55	0.56	55.94
澳大利亚	3604	11.40	198.68
世界	124.98	2.68	190.80

资料来源：各国能源储量数据来自 BP，《世界能源统计年鉴 2009》，人口数据来自 IEA，Key World Energy Statistic (2009)。

我国人均能源拥有量仅为世界平均水平的 45%。按照英国石油公司 2008 年的统计，截至 2007 年年底，我国石油可开采储量为 155 亿桶，占世界总量的 1.3%，按照目前年开采量还可再开采 11.3 年，而世界还可再开采 41.6 年；我国天然气可开采储量为 1.8 万亿立方米，占世界总量的 1.3%，按照目前年开采量还可再开采 27.2 年，而世界还可再开采 60.3 年；煤炭是我国丰度最高的化石能源，可开采储量为 1145 亿吨，占世界总量的 13.5%，按照目前年开采量还可再开采 45.1 年，而世界还可再开采 132.5 年。

我国的能源储量结构决定了我国能源生产和消费结构，2007 年我国能源生产构成为煤炭 76.6%，石油和天然气 15.2%，水电、核电和风电 8.2%，我国能源消费构成为煤炭 69.5%，石油和天然气 23.2%，水电、核电和风电 7.3%；而 2007 年世界能源生产构成为煤炭 28.44%，石油和天然气 59.49%，水电、核电和风电 12.07%，世界能源消费构成为煤炭 28.6%，石油和天然气 59.4%，水电、核电和风电 11.2%。从中可以看出由于我国能源储量以煤炭为主，我国能源生产和消费中煤炭比例都较高，分别高出世界平均水平 48.2 个和 40.9 个百分