



Development Research Center CAST/Serial Reports on Strategic Research

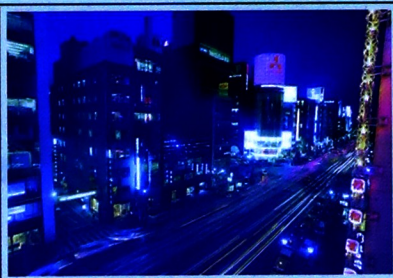
中国科协发展研究中心软科学战略研究系列报告

Energy-use Efficiency in China

中国能源利用效率研究报告

中国科协发展研究中心

能源、经济、环境综合评价与发展研究课题组



中国科学技术出版社

中国科协发展研究中心软科学战略研究系列报告

中国能源利用效率研究报告

中国科协发展研究中心
能源、经济、环境综合评价与发展研究课题组

中国科学技术出版社

• 北 京 •

图书在版编目(CIP)数据

中国能源利用效率研究报告/中国科协发展研究中心能源、经济、环境综合评价与发展研究课题组编. —北京:中国科学技术出版社,2009.10

ISBN 978-7-5046-4995-9

I. 中… II. 中… III. 能源—综合利用—效率—研究报告—中国 IV. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 185020 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版。

责任编辑 董素氏

责任校对 林 华

责任印制 王 沛

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62173865 传真:010-62179148

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京市凯鑫彩色印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:11.5 字数:285 千字

2009 年 10 月第 1 版 2009 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:60.00 元

ISBN 978-7-5046-4995-9/TK·12

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

内容摘要

能源问题是全世界关注的焦点之一。在中国,随着经济社会的持续快速发展,能源的战略地位越来越凸显,而能源利用所带来的负面影响也引起了较大的关注。提高能源利用效率是优化能源利用、提升能源经济效益、减少和消除与能源相关的环境问题的最直接、最有效的途径。

如何评价能源利用效率是一个十分关键的问题,不仅代表着对以往能源利用效果的评判,更是对未来能源利用的一种指导。以大系统的观点来看,能源利用涉及能源、经济和环境各个子系统,因此,对能源利用效率的评价也必须在能源—经济—环境这个大系统中综合考虑。为此,本报告构建了一个包括能源系统指数、经济系统指数和环境系统指数 3 个一级指标、6 个二级指标、12 个三级指标的能源利用效率综合评价指标体系。相对于单一的能源利用效率评价体系,该评价体系的特色是将经济和环境作为能源利用效率评价中至关重要的子系统和因素。在此基础上,报告对我国整体和分地区的能源利用效率进行了综合评价与分析,并对我国未来能源利用效率进行了模拟与预测,最后提出了对策与建议。

Abstract

Energy is one of the focuses in the world. With the steady and rapid social and economic development in China, the strategic status of energy is more and more significant, meanwhile the negative impact related to energy use has also aroused concerns of the public. The most direct and effective way for energy efficiency is to optimize energy utilization, increase energy economic benefit, and reduce and eliminate all factors that might cause environmental problems.

Measurement of energy efficiency is a critical subject. Not only it judges the effect of energy use in the past, but also guides the direction for the future. If we look at the energy utilization from a systematic perspective, we can observe the energy use involves energy subsystem, economy subsystem and environment subsystem, etc.. That is to say the measurement system. Therefore, in this report, a comprehensive index system is set up which consists of 3 first-level indexes, 6 second-level indexes and 12 third-level indexes. Comparing to the single measurement system, the most distinctive trait of this report is to cover economic and environmental subsystems as well as energy subsystem. Based on the index system, China's energy-use efficiency is measured on complete whole, and also measured in different regions, and a simulation of the future energy utilization is configured. In the end, some suggestions and recommendations are put forward.

能源、经济、环境综合评价与发展研究

课题组成员名单

课题顾问：冯之浚 宋南平

课题组长：李 士 周文斌

课题副组长：涂国平 杨湘杰

课题组成员：贾仁安 刘静华 陈 斐 刘春平

侯波波 冷碧滨 李丽清 周小刚

万 群 揭 雷 许 芬 周 峰

Research Team

Advisors: Feng Zhijun Song Nanping

Heads: Li Shi Zhou Wenbin

Associate Heads: Tu Guoping Yang Xiangjie

Team Members: Jia Renan Liu Jinghua Chen Fei

Liu Chunping Hou Bobo Leng Bibin

Li Liqing Zhou Xiaogang Wan Qun

Jie Lei Xu Fen Zhou Feng

序

胡锦涛同志指出：“纵观人类社会发展的历史，人类文明的每一次重大进步都伴随着能源的改进和更替。”

能源是人类生存和发展的重要物质基础，也是当今国际政治、经济、军事和外交关注的焦点。我国已经成为世界第二大能源生产国和消费国，随着我国国民经济和社会发展第三步战略目标的确立，能源的战略地位日益凸显。

众所周知，我国当前的能源形势相当严峻。一方面，我国正处于工业化、城镇化进程的加快时期，能源消费强度较高，对能源供给形成了较大压力。另一方面，我国能源资源总量较大，但人均占有量却较低，再加上能源资源分布不均衡，开采利用技术相对落后，从而影响了能源生产能力的提高。我国以煤为主的能源结构也给生态环境带来了较大的压力。随着经济持续发展和人民生活水平的不断提高，能源需求还会继续加强，能源供求矛盾和资源环境压力将长期存在，成为制约我国经济社会持续发展的重要因素，并直接威胁国家经济安全。

为此，我国用科学发展观和构建社会主义和谐社会两大战略思想统领能源工作，制定了科学的能源发展战略，概括为“节约优先、立足国内、多元发展、保护环境 and 加强国际互利合作”。可以看出，节约能源、提高能源利用效率是我国的基本国策，也是解决当前能源问题最直接、最有效的途径。然而，目前我国能源利用效率与发达国家还有较大差距，粗放式的利用方式无法满足全面、协调、可持续发展的需要。如何有效提高能源利用效率，以能源的可持续发展支持我国经济社会可持续发展，成为亟待解决的重大问题。

能源问题从一开始提出就与经济和环境密切相关。因此，研究能源效率问题，不能单纯地就能源谈能源，而应该立足于能源—经济—环境这一大系统上。如我们可以通过优化产业结构、科技创新等手段来提高能源利用效率，反过来，能源利用效率的提高也为经济健康快速发展提供了更好的能量支持；能源本身是环境资源中的一种，环境一方面提供了动力来源和物质基础，另一方面也对能源消费和经济活动提出了约束。中国科协发展研究中心能源利用效率研究课题组成员正是本着这一科学理念，在总结前人研究的基础上，创新性地研究了能源—经济—环境系统下的中国能源利用效率，完成了《中国能源利用效率研究报告》。报告在对我国能源利用的现状、特别是产业能源利用进行深入分析的基础上，以能源—经济—环境协调发展为基础，构建了中国能源利用效率的评价指标体系，对中国能源利用效率进行了综合评价分析。并在此

基础上,构建仿真模型对中国能源利用效率未来发展趋势进行了理论模拟,最后提出了一系列具有战略性和可操作性的对策建议。

《报告》突破了以往能源利用效率研究的局限,促使我们从更系统、更科学的视角来看待能源利用问题。这是深入实践科学发展观的具体实践,也是发展循环经济、贯彻可再生能源法的具体体现。相信此报告对促进科学发展、和谐发展有大裨益。

遵课题组之嘱,是为序。

冯之浚

第十届全国人大环资委副主任

徐锭明

国家能源专家咨询委员会主任

2009年3月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 必须在能源—经济—环境系统下考虑能源利用效率	1
1.2 关于能源利用效率研究的文献综述	3
1.3 能源—经济—环境系统下的中国能源利用效率研究概述	7
1.4 小结	8
第二章 能源—经济—环境系统的能源利用效率概念	9
2.1 能源—经济—环境系统	9
2.2 能源—经济—环境系统的关联	12
2.3 能源利用效率的概念	18
2.4 小结	21
第三章 中国能源利用效率的现状分析	22
3.1 典型国家的能源利用现状	22
3.2 中国三次产业能源强度影响因素研究	31
3.3 中国第二产业能源强度的因素分解分析	47
3.4 中国分地区能源利用效率研究	59
3.5 中国能源利用的生态环境效益	76
3.6 小结	81
第四章 能源—经济—环境系统的中国能源利用效率评价指标体系	82
4.1 构建指标体系遵循的原则	82
4.2 指标体系筛选的思路和方法	83
4.3 指标体系的筛选	83
4.4 能源—经济—环境系统的能源利用效率评价指标体系	88
4.5 小结	89
第五章 中国整体能源利用效率综合评价与分析	90
5.1 能源系统的中国能源利用效率评价	90
5.2 经济系统的中国能源利用效率评价	95
5.3 环境系统的中国能源利用效率评价	99
5.4 能源—经济—环境系统的中国能源利用效率综合评价	104
5.5 整体评价结果的可靠性分析	108
5.6 小结	110

第六章 中国分地区能源利用效率综合评价与分析	112
6.1 能源系统的中国分地区能源利用效率评价	112
6.2 经济系统的中国分地区能源利用效率评价	118
6.3 环境系统的中国分地区能源利用效率评价	124
6.4 能源—经济—环境系统的中国分地区能源利用效率综合评价	130
6.5 地区评价结果的可靠性分析	136
6.6 小结	138
第七章 中国未来能源利用效率模拟与预测	139
7.1 系统动力学流率基本入树建模法	139
7.2 能源—经济—环境系统基模分析	141
7.3 中国能源—经济—环境系统动力学流率基本入树模型	144
7.4 中国能源—经济—环境系统情景模拟分析	153
7.5 小结	159
第八章 提高中国能源利用效率的对策与建议	160
参考文献	165

Contents

Chapter 1 Introduction

- 1.1 Energy-use Efficiency in Context of Energy-economy-environment System
- 1.2 Literature Analysis
- 1.3 Studies on China's Energy Efficiency in Energy-economy-environment System
- 1.4 Summary

Chapter 2 Concept of Energy-use Efficiency in Energy-economy-environment System

- 2.1 Energy-economy-environment System
- 2.2 Contents Related to Energy-economy-environment System
- 2.3 Concept of Energy-use Efficiency
- 2.4 Summary

Chapter 3 Status Analysis of Energy-use Efficiency in China

- 3.1 Energy Use Situations in Some Countries
- 3.2 Factors of Energy Intensity Influence in Three Industries in China
- 3.3 Factor Decomposition Analysis on the Energy Intensity of the Secondary Industry in China
- 3.4 Energy Use Efficiency in Local Areas in China
- 3.5 Ecological Benefit of Energy Utilization in China
- 3.6 Summary

Chapter 4 Measurement Index System of Energy Use Efficiency in Energy-economy-environment System in China

- 4.1 Principles
- 4.2 Methodology
- 4.3 Index Selection
- 4.4 Measurement Index System
- 4.5 Summary

Chapter 5 Measurement and Analysis of Energy Use Efficiency in Its Entirety in China

- 5.1 Measurement of Energy Efficiency in Energy Subsystem
- 5.2 Measurement of Energy Efficiency in Economic Subsystem
- 5.3 Measurement of Energy Efficiency in Environmental Subsystem
- 5.4 Measurement of Energy Efficiency in Energy-economy-environment System

5.5 Reliability Analysis of Overall Measurement

5.6 Summary

Chapter 6 Measurement and Analysis of Energy Use Efficiency in Different Regions in China

6.1 Measurement of Energy Efficiency in Energy Subsystem

6.2 Measurement of Energy Efficiency in Economic Subsystem

6.3 Measurement of Energy Efficiency in Environmental Subsystem

6.4 Measurement of Energy Efficiency in Energy-economy-environment System

6.5 Reliability Analysis of Regional Measurement

6.6 Summary

Chapter 7 Simulation and Calculation of Energy Use Efficiency in Future Years in China

7.1 Rate Variable Fundamental In-tree Model for System Dynamics

7.2 Archetype Analysis on the Energy-economy-environment System

7.3 Rate Variable Fundamental In-tree Model for System Dynamics in Energy-economy-environment System

7.4 Analysis on Scenario Simulations in Energy-economy-environment System

7.5 Summary

Chapter 8 Suggestions and Recommendations

References

第一章 绪 论

1.1 必须在能源—经济—环境系统下考虑能源利用效率

能源是人类生存和发展的重要物质基础，也是当今国际政治、经济、军事和外交关注的焦点。我国已经成为世界第二大能源生产国和消费国，随着我国国民经济和社会发展第三步战略目标的确立，能源的战略地位将越来越重要。然而，与此同时，能源短缺和与能源相关的环境污染问题日益突出，已经成为制约我国经济社会可持续发展的两大问题。

改革开放以来，经过 30 年的发展，我国经济发生了巨大的变化，已经成为世界最具经济活力的国家。根据《中国统计年鉴》(2008)，按 1978 年不变价格计算(1978 年为 100)，可以得到 1978~2007 年中国 GDP 指数曲线图 1.1。可以看出，改革开放以来，我国国民经济增长迅速，2007 年国民经济总量是 1978 年的 15 倍。

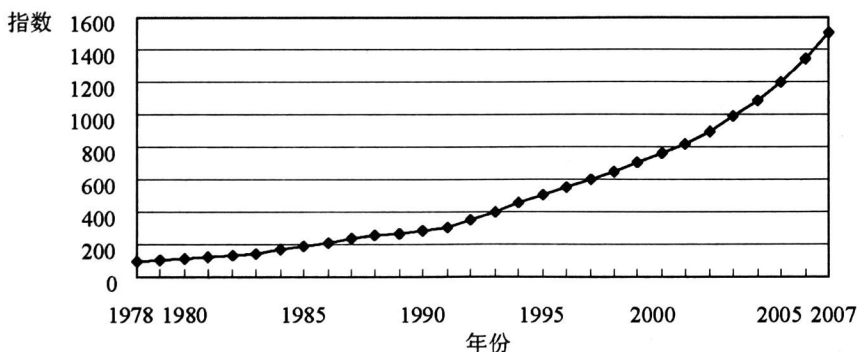


图 1.1 1978~2007 年中国 GDP 指数

伴随着国民经济总量的扩大，我国能源消费总量也大幅度增加。根据《中国统计年鉴》(2008)可以得到 1978~2007 年我国能源消费总量曲线图 1.2。可以看出，我国能源消费总量从 1978 年的 571.44 百万吨标准煤增加到 2007 年的 2655.83 百万吨标准煤，增幅较大。

但是，我国目前却正面临着十分严峻的能源短缺的局面，而且这种状况还将持续较长的时间。那么，要想保持经济平稳较快发展，有效提高能源效率就成为国民经济发展中的重要问题。

我国能源效率究竟如何呢？我们可以先简单地以万元 GDP 能源消费量来衡量。根据《中国统计年鉴》(2008)，按 1990 年不变价格计算，可以得到我国 1980~2007 年万元 GDP 能源消费量曲线，如图 1.3。可以清楚地看到，1980 年以来，我国能源效率发生了很

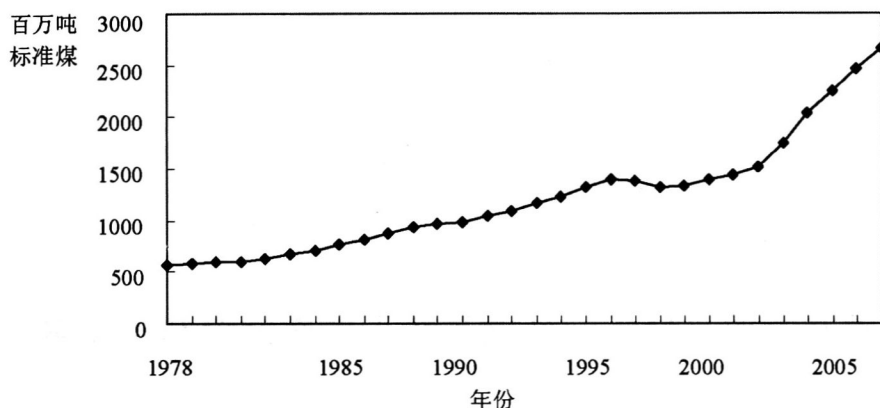


图 1.2 1978~2007 年中国能源消费总量

大的变化,呈逐渐改善的趋势。万元 GDP 能源消费量总体呈现下降趋势,2002 年比 1991 年下降了近一半。但从 2003 年开始,我国万元 GDP 能源消费量出现上升态势,虽然涨幅不大,但由于我国经济总量的增长,导致我国能源消费总量增加量较大,如图 1.2。

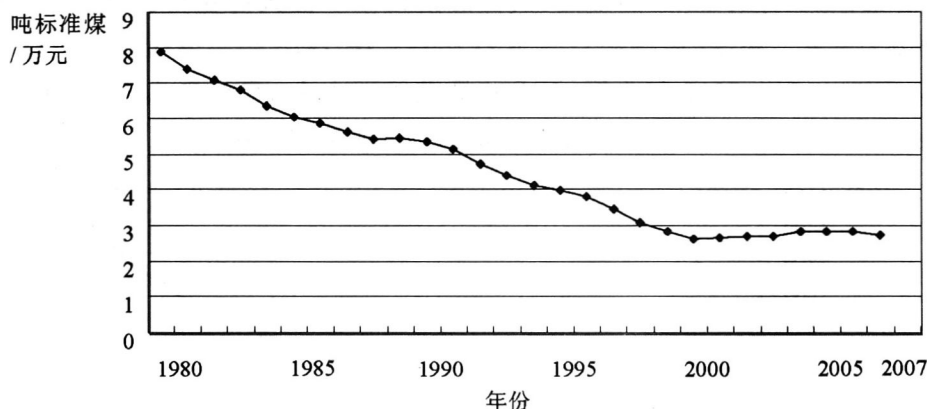
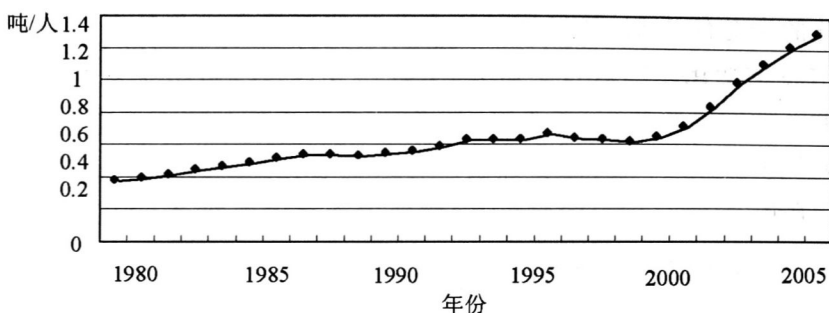


图 1.3 1980~2007 年中国万元 GDP 能源消费量

我国能源消费量的迅速增加导致环境压力不断增大,如图 1.4。尤其是从 2000 年以后,我国人均 CO_2 排放量的增长速度明显加快,表明进入 21 世纪后我国的环境问题更加突出。环境压力的增大,反过来影响了经济的发展。根据国家环境保护总局和国家统计局联合颁布的《中国绿色国民经济核算研究报告(2004)》,2004 年全国因环境污染造成的经济损失高达 5118 亿元,为当年 GDP 的 3.05%。近年来,国家投入的环境治理费用迅速增加。根据国家公布的历年《全国环境统计公报》,2001~2007 年全国环境污染治理投入逐年增加,2007 年投入的环境治理费用是 1981 年的 135 倍,参见表 1.1。

表 1.1 2001~2007 年全国环境污染治理投入情况

年 份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
投资额(亿元)	1106.6	1363.4	1627.3	1908.6	2388.0	2567.8	3387.6
占 GDP 比重(%)	1.15	1.33	1.39	1.4	1.31	1.23	1.36

图 1.4 1980~2007 年中国人均 CO₂ 排放量

由此看来,要想解决当前面临的能源短缺和与能源相关的环境问题,必须要有效提高能源利用效率,减少对环境的负面影响。

传统意义的能源效率是指能源投入与产出之比,可分为能源经济效率和能源技术效率。能源经济效率是指把能源作为燃料和动力时,能源投入与最终生产成果之比;而把能源作为原材料,经过加工转换生产出另一种形式的能源,这种能源投入与能源产出之比叫做能源技术效率。能源经济效率的计算方法有两种(Hu & Wang, 2006),一是全要素能源效率,即考虑各种投入要素相互作用的能源效率;二是单要素能源效率,只把能源要素与产出进行比较,不考虑其他生产要素。全要素能源效率更接近实际,但是计算复杂。单要素能源效率计算简单,却夸大了能源经济效率,而且没有考虑要素之间的替代作用。

然而,传统意义的能源效率只是就能源论能源,忽视了能源—经济—环境之间的内在联系。实际上,能源综合效率的提高不仅与经济系统密切相关,如产业结构、工业增加值的能耗等,还与环境系统直接相连。如果能源效率得到有效改善,可以直接为经济增长提供动力;甚至在经济不断增长的情况下,能源消费也有可能不再增加甚至是减少,而与能源消费紧密相关的环境污染也有可能大大减轻。因此,需要在能源—经济—环境这个大系统中综合考虑能源利用效率。而这正是本报告研究的主要内容。

1.2 关于能源利用效率研究的文献综述

目前,关于我国能源利用效率的研究已经取得了丰硕的成果,获得了一些有价值的结论,其研究主要集中在以下方面:

1.2.1 关于中国能源强度变动因素的研究

Richard F. 等(1999)针对我国 1978~1992 年能源强度下降的实际情况,从技术因素和结构变化两个方面对导致我国能源强度下降的原因进行了研究;王玉潜(2003)运用投入产出技术和统计因素分析方法,通过建立能源消耗强度的投入产出模型和因素分析模型,对我国 1987~1997 年能源消耗强度下降的原因进行了研究;韩智勇等(2004)从三次产业划分的角度,研究了经济结构变化和部门能源效率变化对我国 1980~2000 年能源强度下降的影响;张瑞等(2006)通过建立能源效率与能源消费结构的协整模型,定量分析了 1978~2004 年我国各类能源消费比重对我国能源效率的影响;张瑞等(2007)运用

能源强度变化的全分解模型,从经济结构变化和能源效率变化的角度,对我国 1994~2003 年能源强度的变化原因进行了研究;王群伟等(2008)运用非参数 Malmquist 指数法,分解了 1993~2005 年我国 28 个省、自治区、直辖市的全要素生产率变动,在此基础上构造全要素能源效率指标,利用面板数据回归模型分析了 Malmquist 各分解要素对能源效率的影响作用。

1.2.2 关于中国各区域能源效率的比较研究

郝存(2008)通过对上海市能源利用状况分品种、分终端能源消费部门的详细分析,结合国际目前通用的能源平衡体系,对上海市能源平衡表进行了调整,并根据调整后的结果,绘制了上海市 2005 年能源流动图;史丹等(2006)利用洛伦兹曲线和佛罗伦斯系数对国内 30 个省市的能源经济效率进行了分析比较,得出了各省市能源情况条件趋同的节能潜力;魏楚等(2007)运用 DEA 方法构建了反映内在技术效率变化的能源效率指标,利用我国各省区 1995~2004 年的面板数据,对各省区市的能源效率和能源生产率进行了比较研究;史丹等(2008)运用随机前沿生产函数构建了地区能源效率差异分析框架,采用方差分析方法测算了 1980~2005 年我国地区能源效率各因素的作用;李世祥等(2008)运用 DEA 方法,计算了我国 13 个主要工业省区 1990~2006 年的能源效率,研究了其能源效率差异;杨红亮等(2008)通过运用单要素方法和三种全要素方法,以 2005 年数据为基础,对我国各省区市的能源效率进行了比较分析。

1.2.3 关于经济增长与能源效率的关系研究

Chang Youngho (2003) 通过 Granger 因果关系检验研究了国内和国际石油价格波动对我国经济增长的影响;林伯强(2003)从电力短缺、短期措施与长期战略措施和能源结构变化与效率改进的角度研究了我国能源需求与经济增长的关系;王海鹏等(2005)利用协整分析理论和 Granger 因果关系检验方法对我国电力消费与国民经济增长之间的协整关系和因果关系进行了实证研究;赵进文等(2007)利用 STR 模型分析了我国经济增长与能源的内在依从关系;齐绍洲等(2007)以东部、中部和西部三大地区为对象,研究了我国经济增长与能源消费的强度关系;师博(2007)运用协整分析和误差修正模型,以国际原油价格波动的月度数据为基本数据,探讨了国际原油价格波动和能源效率对我国经济增长的影响;张宏武(2007)从能源投入和能源效率等影响经济增长的因素方面来阐明能源利用效率和经济增长的关系;周建(2007)采用 Granger 因果关系检验、动态相关系数、小样本因果关系检验模型等多种计量方法对改革开放以来我国能源消费与经济增长之间的作用机理进行分析;叶春(2007)结合地理信息系统的空间相关分析功能,对比分析了 1995 年、2000 年和 2003 年我国 31 个省、市、自治区的能源效率与经济发展的关系,研究了能源效率与经济发展水平之间具有的空间相关关系和空间集聚性;周建(2008)以 1989~2005 年我国 31 个省区市面板数据为研究对象,利用协整模型研究了能源利用效率与区域经济发展之间的空间依赖性和集群特征,以分析我国经济增长过程中能源利用效率的动态演化机制。