

ZHONGGUO
DITANNENGYUAN
ZHENGCE YANJIU

中国低碳能源 政策研究

袁家海 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国低碳能源 政策研究

袁家海 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统研究了中国的低碳能源政策,全书共分7章。第1章用生产函数模型进行了中国能源消费与经济增长关系的实证研究。第2章从节能与发展新能源两个角度对中国的能源政策发展脉络进行分析,第3章进行了能源政策的国际比较。第4章构建了可计算一般均衡模型定量评估能源政策的综合影响。第5章转向电力行业低碳发展,研究了电力综合资源战略规划模型。第6章构建了中国低碳发展的经济-能源-电力-环境(E4)模型,进行了中国2010-2030年低碳能源发展的情景分析。第7章以电力行业为对象,从技术社会学的视角分析了中国能源的低碳转型问题。

本书可供能源政策领域研究、政策、管理人员及相关专业的专家、学者参考,也可作为能源经济专业本科生、研究生的学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

中国低碳能源政策研究 / 袁家海著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2014. 1
ISBN 978-7-5170-1519-2

I. ①中… II. ①袁… III. ①节能政策—研究—中国
IV. ①F426.2-012

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第019351号

书 名	中国低碳能源政策研究
作 者	袁家海 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	175mm×245mm 16开本 13.5印张 257千字
版 次	2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	29.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

改革开放 35 年来，中国经济发展取得了辉煌的成就。当前，中国正在努力实现由中等收入国家向高收入国家的跨越，正处于工业化、城镇化、信息化、现代化加速发展的战略机遇期。

维护能源资源长期稳定可持续利用，是中国政府的一项重要战略任务。受国际能源竞争格局、生产力水平以及所处发展阶段、产业结构和能源结构、能源开发利用方式等因素共同决定，中国能源必须走科技含量高、资源消耗低、环境污染少、经济效益好、安全有保障的发展道路，全面实现节约发展、清洁发展和安全发展。

2012 年底召开的中国共产党第十八次全国代表大会描绘了未来中国经济社会发展的新宏伟蓝图。会议提出 2020 年全面建成小康社会，实现国内生产总值和城乡居民人均收入比 2010 年翻一番，届时中国的人均 GDP 水平（2010 年汇率）将达到 10000 美元。按照世界银行的国家收入分组标准，2020 年中国将达到中上等收入国家与高收入国家的临界水平。

经济的又好又快增长将引发能源需求的高速增长，对生态环境产生巨大压力。全球气候政策的宏观形势和中国经济社会发展的内在需求，都要求中国必须走出一条不同于西方发达国家的经济-能源-环境-生态协调可持续发展的新路。为此，十八大报告首次辟专章论述生态文明建设，指出要“推动能源生产和消费革命，控制能源消费总量，加强节能降耗，支持节能低碳产业和新能源、可再生能源发展，确保国家能源安全”。

中国的能源战略可以概括为三个基点。第一是保障能源的安全稳定供应。规范的实证检验表明，中国经济发展高度依赖于能源供应。然而，国际上日益严峻的全球气候变化治理环境和国内日益严重的环境污染问题，使得中国政府下定决心对这一点设置限制，即“化石能源消费总量控制”。第二是着力提高能源效率。“节能是油、煤、气、核之外的第 5 种能源，也是最重要的能源资源”。自从“十五”计划中国政府将节能作为一项非约束性指标纳入国民经济与社会发展规划以来，这一理念在中国已深入人心。与国际先进水平相比，我国通过技术进步、结构调整和管理措施实现的节能空间巨大。第三是优化能源结构，大力发展清洁能源。以煤为主的一次能源结构是我国能源效率低下的主要原因，也是巨大的环境生态压力的主要来源。2013 年 9 月国家

发布了《大气污染防治行动计划》。“压煤上气、核电加速、加大清洁能源开发”被看作是对大气污染防治的主要能源政策。

本书共分7章。第1章运用格兰杰因检验(Granger causality)方法在生产函数模型下检验了中国能源消费与经济增长的关系;计量分析将为后续的中国能源政策研究奠定实证基础。第2章从节能与发展新能源两个角度对中国的能源政策发展脉络进行梳理分析,研究发现中国当前的能源政策基点是“行政主导、计划推动”。第3章进行了能源政策的国际比较研究,介绍了美国、欧洲、日本、巴西、印度等主要国家的能源政策框架及其要点。第4章进行中国能源政策的定量化市场机制研究,构建了可计算一般均衡模型(CGE)研究碳税对中国能源电力消费的影响。研究表明碳税作为一种市场化的节能政策,在设计得当的前提下可实现能源政策的有效性与成本效率性的兼顾,因此可作为未来中国能源政策的发展方向。第5章研究了电力综合资源战略规划模型。研究了在电力体制改革的背景下,如何站在国家层面将电力节能与新能源开发统筹纳入电力发展规划。第6章在之前研究的基础上构建了中国低碳发展的经济—能源—电力—环境(E4)模型,并进行了中国2010~2030年低碳发展的情景分析。第7章研究了中国能源的低碳转型问题。运用技术社会学的多尺度分析框架(multi-level perspective, MLP)构建了能源系统低碳转型的分析框架,提出了转型路径选择的构想,并对其管理框架和能源政策组合的系统设置提出了若干研究建议。

作者

2013年11月11日

于华北电力大学

目 录

前言

第 1 章 中国能源消费与经济增长关系的实证研究	1
1.1 引言	1
1.2 能源消费与经济增长的研究现状	3
1.3 能源消费和经济增长之间的关系	4
1.4 中国能源消费与经济发展关系实证研究	6
1.5 本章小结	20
本章参考文献	20
第 2 章 中国能源政策的演化研究	24
2.1 中国节能减排政策研究	24
2.2 中国可再生能源政策研究	46
2.3 本章小结	52
本章参考文献	53
第 3 章 能源政策国际比较研究	55
3.1 发达国家的能源政策分析	55
3.2 发达国家能源政策比较	65
3.3 发展中国家能源政策分析	66
3.4 发展中国家能源政策比较	71
3.5 本章小结	72
本章参考文献	72
第 4 章 基于 CGE 模型的中国低碳政策仿真研究	74
4.1 引言	74
4.2 文献综述	76
4.3 3E 系统的 CGE 模型原理	85
4.4 中国 3E 系统的 CGE 模型的碳税政策研究	114
4.5 本章小结	138
本章参考文献	138
第 5 章 基于综合资源战略规划模型的低碳电力规划研究	147
5.1 引言	147

5.2	研究综述	148
5.3	综合资源战略规划相关概念	151
5.4	综合资源战略规划的资源形式	152
5.5	综合资源战略规划模型	156
5.6	2010—2030 年中国电力规划算例	160
5.7	本章小结	165
	本章参考文献	165
第 6 章	基于 E4 模型的中国低碳发展问题研究	167
6.1	引言	167
6.2	中国能源与电力需求分析的 E4 模型	168
6.3	2010—2030 年中国基准能源电力需求预测	171
6.4	低碳经济在中国——能源视角的分析	172
6.5	低碳能源和电力发展对中国的影响	176
6.6	政策机制	179
6.7	本章小结	180
	本章参考文献	180
第 7 章	中国低碳能源转型：路径、管理框架和政策含义	182
7.1	引言	182
7.2	国内外研究现状	184
7.3	能源系统转型及其管理的科学理论方法	186
7.4	中国电力系统的 MLP 分析	189
7.5	能源系统转型管理	193
7.6	本章小结	203
	本章参考文献	203
致谢		207

第1章 中国能源消费与经济增长关系的实证研究

1.1 引言

能源是人类赖以生存和生产的重要物质基础,能源的不断更替和变革是人类社会不断发展的重要标志。300年的能源变化反映了两大趋势:一是随着经济发展与社会进步,人均能源消费量成倍增长。据统计,20世纪全球人口增加4倍,能源消费增长16倍。二是能源构成不断变化,总的趋势由含碳量高、污染较重的固体燃料向含碳量低、污染较轻的碳氢化合物转移,也可说由传统能源向优质能源或清洁能源转移。

自19世纪70年代的产业革命以来,化石燃料的消费量急剧增长。初期主要是以煤炭为主,进入20世纪以后,特别是第二次世界大战以来,石油和天然气的生产与消费持续上升,石油于20世纪60年代首次超过煤炭,跃居一次能源的主导地位。根据统计,1973年世界一次能源消费量仅为57.3亿吨油当量,而2008年已达到112.95亿吨油当量。在三十几年内能源消费总量翻了一番,年均增长率为1.8%左右。2008年,在世界一次能消费总量中石油消费占37.48%,天然气消费占24.14%,煤炭消费占29.25%,核电占5.49%,水电占6.35%,非化石能源和可再生能源虽然增长很快,但仍保持较低的比例,只占11.84%^①。

1978年改革开放以来,中国的能源发展大体上经过了三个阶段:第一阶段,20世纪80年代初期和中期,我国的能源供需关系主要表现为供求总量的失衡,具体说是能源供给量的短缺,因此,能源发展主要围绕解决一次能源供应短缺问题而进行的。此后,在能源需求的强大拉动下,国家曾一度鼓励发展乡镇煤矿以解决煤炭供应问题,使得我国能源工业快速发展,结束了我国煤炭供应短缺的历史,能源产量跃居世界前列。第二阶段,20世纪80年代后期至90年代中期,我国能源发展进入以解决电力短缺为主要目标的阶段,此一阶段仍然属于补短阶段,为解决能源供应短缺问题,国家明确提出了能源发展要以电力建设为中心。

① BP Statistical Review of World Energy Full Report 2009, <http://www.bp.com>

第三阶段,1996年下半年至今,我国的能源在需求总量继续增长的同时,需求结构与需求增长速度开始发生变化,这些变化对我国能源工业的生产和发展、能源经济运行产生了重要的影响,如进口石油数量不断增长,煤炭由短缺到过剩的转变,电力由短缺到供需基本平衡。这一阶段在能源供需矛盾基本得到缓解的情况下,我国以煤为主,缺油少气的能源生产和消费结构也逐渐形成,一系列的环境保护问题、社会发展问题,乃至油气短缺造成的外交问题等都逐渐显现出来。

中国正处在国民经济快速发展的时期,已成为世界上第二大能源消费国。2008年中国能源消费量达到29亿吨标准煤,占世界能源消耗18%左右。在今后相当长的一段时期内能源需求仍将持续增长,能源已经成为中国经济高速增长的必要支撑条件。但是我国能源总量供给不足、消费结构不合理、单位GDP能耗高等特点又进一步制约着我国经济的快速发展。随着国际能源价格的逐渐提升,国际油价屡创新高,再一次为我们敲响了能源紧缺的警钟,能源问题日渐凸显。

能源的紧缺正逐步成为制约中国经济发展的“瓶颈”。能源对经济发展的制约作用开始显现,石油、煤炭、电力供应面临严峻的挑战。缺电、缺油、缺煤,近年来此类现象在我国频频出现、不断升级,能源供应频频出现“休克”现象。除了资源条件外,当前我国的能源紧张又同长期以来粗放型的经济增长方式密切相关。近年来全国各地高耗能行业的超常规发展,城市化进程的加快,均使能源需求迅速扩大,超出了资源的支撑能力,导致了当前的能源紧张,这不仅表明我国能源紧张程度在加剧,更说明经济增长方式的非合理性。

为此,党的十七大报告对转变经济发展方式作出了方向性的论述:“加快转变经济发展方式,推动产业结构优化升级”。从“转变经济增长方式”到“转变经济发展方式”,两字之差,却反映出发展方式的内容与意义上的深刻深化。“转变经济增长方式”的提出,为时已久,但似乎长期以来成效不明显。这既是由于片面的GDP增长导向,更是由于缺乏有效的转变策略与措施。

而在选择低碳经济发展的道路中,能源消费与经济增长的关系是一个核心内容。能源作为推动经济增长和发展的重要投入要素,一方面促进了经济增长,另一方面,能源消费特别是碳基能源(化石能源)的消费引起了以CO₂为主体的温室气体排放,不仅给我国带来了巨大的经济损失,而且还影响我国的国际形象,从国外散布的中国“能源威胁论”、“环境威胁论”中可以窥见一斑。所以,为争取国外良好的发展环境和国内坚实的发展基础,我国必须选择发展低碳经济的正确道路。这是一个涉及我国在未来是否走上又好又快发展道路的问题,也是一个关系到我国是否在国际竞争中赢得环境外交权的重要课题。因此,该课题更是一个亟需圆满解决的问题。

走低碳经济的发展道路,需要建立起发展低碳经济的低碳产品、低碳产业、低碳社会等体系,而在这一体系中处于核心地位的则是能源消费、碳排放与经济增长的关系。这是因为,能源消费对促进经济增长的作用不言而喻,同样,碳基能源的消费对碳排放的贡献也是不言而喻,但是这些归根到底要服务于中国的经济增长这个大局。因为能源消费和碳排放是资源环境问题,但是归根到底是发展问题,要用发展的思路来解决。

1.2 能源消费与经济增长的研究现状

能源消费和经济增长之间的关系是近 30 年来经济研究中的一个热点。最早研究能源消费和经济增长之间关系的是美国学者,他们使用 Sim 方法对美国 1947—1974 年能源消费和经济增长的数据进行实证分析,发现美国的国民收入与能源消费量之间存在着显著的因果关系,并且如果实施不恰当的节能政策就会对经济增长造成负面影响^[1]。Stem 运用多元变量的向量自回归模型和能源加权指数分析法,采用燃料结构对美国最终能源消费进行测量,发现美国能源消费和 GDP 之间存在 Granger 因果关系^[2-3]。Stem (2000) 引入协整理论,进一步扩展对美国能源消费和 GDP 之间关系的研究范围,研究表明不仅能源消费对促进经济增长具有显著效果,并且美国的 GDP、资本、劳动投入和能源消费之间存在协整关系^[4]。此后,学者们分别采用了误差修正模型分析亚洲四国、“七国集团”、OECD 国家、非 OECD 国家的能源消费与经济增长的相互关系。他们的协整分析结果表明,在这些工业化发达国家中能源消费对促进经济增长具有显著的影响^[5-8]。

国内学者对我国能源消费和经济发展之间的关系也做了大量的研究,计量经济的分析结果表明能源与经济之间存在着相关关系,但是计量分析对采用的模型形式、时间序列数据的时间段、原始数据的处理方法等都比较敏感,有时候可能会出现截然不同的结论。因此,可以说中国能源与经济之间关系的计量分析已经有着较好的基础,但是还不够系统和深入。

林伯强 (2003) 在能源、资本和劳动力三要素生产函数下,使用协整分析和误差修正模型研究了电力消费与经济增长之间的关系,实证得出电力消费和经济增长之间具有内生性,即存在电力到 GDP 的因果关系^[9]。马超群等运用协整与误差校正模型研究了中国 1954—2003 年能源消费与 GDP 的关系,结论是两者存在长期协整性,而且具有很强的 Granger 双向因果关系^[10]。韩智勇等按照目前国际上通行的协整性检验和因果分析方法,对中国 1978—2000 年能源消费与经济增长协整性和因果关系进行了研究,认为中国能源与经济增长之间存在双向的

因果关系,但不具有长期的协整性^[11]。赵进文、范继涛率先采用非线性 STR 模型技术得出经济增长对能源消费的影响具有非线性特征,并可以通过 LSTRZ 模型表达,并且两者之间具有非对称性变化,当 GDP 增长绝对下降时,能源消费比 GDP 有更快的下降速度;当 GDP 增长速度超过 15.04%,能源消费较 GDP 有更快的增长速度,经济增长完全以能源的高能耗为代价,应避免经济的负增长和超高速增长^[12]。此外,相关的文献还有^[13-15]。

1.3 能源消费和经济增长之间的关系

能源与社会经济发展的关系非常密切,这首先是因为能源是现代生产的主要动力来源,是我国可持续发展的物质基础。现代化的生产是建立在机械化、电气化和自动化的基础上的高效生产,所有的生产过程几乎都能与能源的消费同时进行,随着社会经济的逐步发展,生产对能源的依赖性会越来越强,因此我国要实现经济社会的可持续发展和全面实现小康社会的战略目标,必须以能源与经济的协调发展为基本前提。

1.3.1 经济增长促进能源消费

1.3.1.1 经济增长增加了能源需求

能源生产就如其他商品生产一样受到市场需求的制约。人类经济发展的几个主要转折阶段都是以主导能源的更替为主要标志,而经济发展对能源消费和需求的不断增长以及某种能源资源的相对有限性,是主导能源形式转换的客观依据。蒸汽机在工业和交通领域的广泛采用,极大地刺激了煤炭工业的发展;汽车工业的发展和汽油发动机的运用,各工业部门纷纷采用石油相关产品做燃料的动力装置,刺激了石油的需求量并极大地促进了石油工业的发展。改革开放以后,中国经济持续高速增长,大大地刺激了能源消费增长,能源消费总量年平均增长率为 517%,大大高于同期世界商业能源消费年平均增长 110% 的水平^❶。从历史发展的状况来看,能源产品不论是总量增加,还是品种扩大和质量提高,都是在经济增长所引起的需求拉动下实现的。毫无疑问,若没有经济增长为其提供市场,能源产业也不可能发展到今日的水平。

1.3.1.2 经济及科技的发展丰富了能源利用途径

经济的快速发展使得科学教育得到迅速发展,科技水平迅猛提高,人类对能源科学原理认识的不断深入和能源利用技术的不断提升而导致新的能源形式进入能源供应系统,是主导能源更替的主动原因。同时,经济发展和教育科技水平的

❶ 数据来源于 BP 世界能源统计及中国统计年鉴。

提高培养了高素质的人才，这样可以对能源利用方法进行改进，从而提高其利用效率。此外，能源资源被开发出来，并加以利用，必须具备一定的物质手段。技术进步以及经济的发展为开发利用能源提供了物质手段。因此，经济的发展程度制约着能源开发利用的规模 and 水平。

1.3.1.3 经济增长为能源消费提供了财力、物力保证

经济增长为能源发展提供财力、物力保证。特别是从近代煤炭大规模开发起，能源工业就成为投资大、建设周期长的产业部门之一。矿物能源、水电、核电等能源的开发就是如此（三峡水电站的建设过程就是一个典型的案例）。

1.3.2 能源消费推动经济社会发展

1.3.2.1 能源消费促进了经济发展

历史上，人类社会经历了四个能源时期：柴草时期、煤炭时期、石油时期及多功能互补时期。每次能源消费的需求促进能源科学技术的重大突破，从而引起生产技术的一次革命，把社会生产力的发展由一个高峰推向另一个高峰，很多资本主义国家实现了工业化，从根本上改变了人类社会的面貌。

1.3.2.2 能源消费投入制约了经济增长规模

在投入的其他要素具备时，必须有能源为其提供动力很多工厂才能正常运转，而且运转的规模和程度也受能源供给的制约。投入不足是中国经济增长面临的突出矛盾之一，因缺煤缺电（即缺能源）又导致大量生产能力闲置，每年因此损失的产值数以百亿元计。这表明，即使有了投入并形成了生产能力，没有能源的推动也不能发挥实际作用。例如第一次石油危机期间，日本能源短缺相当严重，国民生产总值因此减少了 485 亿美元，其他发达国家的情况也大体如此。据有关资料分析，由于能源不足而造成国民生产总值的损失，大约是能源本身价值的 20~60 倍。

1.3.2.3 能源消费推动了技术进步，促进了新兴产业的诞生和发展

迄今为止，尤其是在工业交通领域，几乎每一次重大的技术进步都是在“能源革命”的推动下实现的，蒸汽机的普遍利用是在煤炭大量供给的条件下实现的，电动机更是直接依赖电力的利用，交通运输的进步与煤炭、石油、电力的利用直接相关。农业现代化或现代农业的进步，包括机械化、电气化等同样依赖于能源利用的推动。此外，能源的开发利用所产生的技术进步需求，也对整个社会技术进步起着促进作用。能源科学技术的每个重大突破，都会引起生产技术的一次革命，把社会生产力推到一个新水平。此外，能源产品，尤其是矿物能源产品同时也是重要的工业原料。以矿物能源为原料的煤化工、石油化工等工业的崛起不仅使其本身成为举足轻重的产业部门，而且带动了一批新兴产业的迅猛发展，同时为传统产业的改造创造了条件。

综上所述,两者的关系大体上可以概括为:经济增长必然具有对能源发展的内在需求,能源发展是经济增长的动力源泉,经济增长为能源发展创造条件;建立在大量消费能源基础上的现代社会,正确地认识、稳定地保持能源需求与经济增长之间的关系,对能源、经济、社会的可持续发展特别重要,同时也有利于我国构建和谐的两型社会。

1.4 中国能源消费与经济发展关系实证研究

1.4.1 模型和方法

1.4.1.1 新古典主义的生产模式

为了研究能源消费与产出增长之间的关系,本书使用文献[16-17]提出的新古典经济的总生产函数模型,其中资本、劳动力和能源视为独立输入。即:

$$Y_t = f(K_t, L_t, E_t) \quad (1-1)$$

式中: Y 为总产出或本地生产总值; K 为资本存量; L 为就业水平; E 为总能源消耗或细分的煤炭、石油和用电消费水平,并下标 t 表示时期。以差分方程式(1-1)除以 Y_t 可以得到:

$$\dot{Y}_t = a\dot{K}_t + b\dot{L}_t + c\dot{E}_t \quad (1-2)$$

式中:变量顶部的点是指该变量的增长率形式。常量参数, a 、 b 和 c 分别表示资本、劳动力和能源的产出弹性。

公式(1-1)的生产函数描述产出、资本、劳动和能源投入之间的关系,它表明它们之间可能存在长期均衡关系。此外,如果允许短期动态关系,容许资本、劳动力和能源的短期变化在其他条件不变的情况下对未来产出的变化产生冲击,这些影响可以很容易地使用多元协整检验和格兰杰因果来检验。

1.4.1.2 协整检验和格兰杰因果关系

根据文献[18-20],提出了本书用于能源与产出 Granger 因果关系检验的 VEC 模型。VEC 模型表达式如下:

$$\Delta Y_t = \mu_1 + \sum_{k=1}^r \alpha_{1,k} v_{k,t-p} + \sum_{s=1}^p \gamma_{1,s} \Delta Y_{t-s} + \sum_{s=1}^p \gamma_{2,s} \Delta K_{t-s} + \quad (1-3)$$

$$\sum_{s=1}^p \gamma_{3,s} \Delta L_{t-s} + \sum_{s=1}^p \gamma_{4,s} \Delta E_{t-s} + \eta_{1,t}$$

$$\Delta K_t = \mu_2 + \sum_{k=1}^r \alpha_{2,k} v_{k,t-p} + \sum_{s=1}^p \theta_{1,s} \Delta Y_{t-s} + \sum_{s=1}^p \theta_{2,s} \Delta K_{t-s} + \quad (1-4)$$

$$\sum_{s=1}^p \theta_{3,s} \Delta L_{t-s} + \sum_{s=1}^p \theta_{4,s} \Delta E_{t-s} + \eta_{2,t}$$

$$\Delta L_t = \mu_3 + \sum_{k=1}^r \alpha_{3,k} v_{k,t-p} + \sum_{s=1}^p \varphi_{1,s} \Delta Y_{t-s} + \sum_{s=1}^p \varphi_{2,s} \Delta K_{t-s} + \quad (1-5)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{s=1}^p \varphi_{3,s} \Delta L_{t-s} + \sum_{s=1}^p \varphi_{4,s} \Delta E_{t-s} + \eta_{3,t} \\ \Delta E_t = & \mu_4 + \sum_{k=1}^r \alpha_{4,k} v_{k,t-p} + \sum_{s=1}^p \rho_{1,s} \Delta Y_{t-s} + \sum_{s=1}^p \rho_{2,s} \Delta K_{t-s} + \sum_{s=1}^p \rho_{3,s} \Delta L_{t-s} \\ & + \sum_{s=1}^p \rho_{4,s} \Delta E_{t-s} + \eta_{4,t} \end{aligned} \quad (1-6)$$

式中： p 为滞后阶数，是根据信息标准和最终预测误差来决定的；参数 $v_{k,t-p}$ 是协整向量，在协整检验是基于长期协整关系（即 $Y_t = \beta_1 K_t + \beta_2 L_t + \beta_3 E_t + \beta_4 T + \xi$ ， T 是趋势， ξ 是均衡残差），正规化的 K 、 L 和 E 分别为它们的系数； $\alpha_{i,k}$ 为调整系数；参数 μ_i ， $i=1, 2, 3, \dots$ 是截距；符号 Δ 表示它后面的变量为差分项。

约翰森办法 [21-23] 估计非平稳变量之间的协整关系，其中使用最大似然程序测试协整秩 r 和估计参数 α 和 β 。在方程中使用的模型表达式 (1-3) ~ 式 (1-6)，变量之间的格兰杰因果检验可以通过以下 3 种方式检验：

(1) 误差修正项 (ECTs) 的统计显著性由独立的 t 检验调整系数，验证是是否存在长期均衡关系。

(2) 在一个方程中， F 检验或沃尔德 χ^2 检验应用于每一个解释变量的系数显著性，例如，在公式 (1-3) 中要测试能源消费是否为产出的格兰杰因，可以测试以下的零假设： $H_0 \gamma_{4,1} = \gamma_{4,2} = \dots = \gamma_{4,p} = 0$ 。这一检验用于验证是否存在短期格兰杰因。

(3) 联合 F -检验或瓦尔德 χ^2 检验强格兰杰因关系。

1.4.2 数据分析和单位根检验

1.4.2.1 数据分析

我们使用总就业人数和实际国内生产总值 (1990 元) 分别代表劳动力和收入，并分别表示为总就业人数 (L) 和国内生产总值 (Y)。对于中国来说，资本存量 (K) 没有现成的数据集。但是，国家统计局有自 1963 年以来所有工业企业固定资产净值的统计数据。考虑到工业一直在中国所有部门中占主导地位，所以工业企业的资产是一个很好的资本存量指标，根据文献 [24-25] 的研究方法，利用全部工业企业的年度固定资产净值均值 (K) 作为全社会固定资本存量的近似。当然这个近似值在经济中忽略了其他部门的资产，应该谨慎对待由此得到的实证结果。能源消费总量 (万吨标准煤，记为 TE)，对于分类能源的处理，在中国两种最主要的一次能源，即煤炭 (万吨标准煤，记为 CL) 和石油 (万吨

标准油, 记为 OL), 最主要的二次能源电力 (亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 记为 EL)。

图 1-1 显示了相关变量的增长趋势, 直观表明变量之间很可能存在长期关系, 因为随着时间的推移, 所有的变量走势非常接近。图形分析还表明, 相关变量间存在线性关系, 由于煤炭消费量、总的能源消耗和就业变量显示具有结构性变异, 有必要进行单位根检验, 以防存在结构性的突变。本书中采用的变量与在文献 [26-28] 中采用的基本类似。需要注意的是, 计量分析中所有的变量均取自然对数, 以使它们的一次差分近似于增长率。在每个变量前使用符号 L 表示自然对数, 并在每个变量前加 D 来表示自然对数的一次差分。研究数据的收集和来源于中国国家统计局, 研究的数据样本为 1963—2005 年文献 [29-30]。

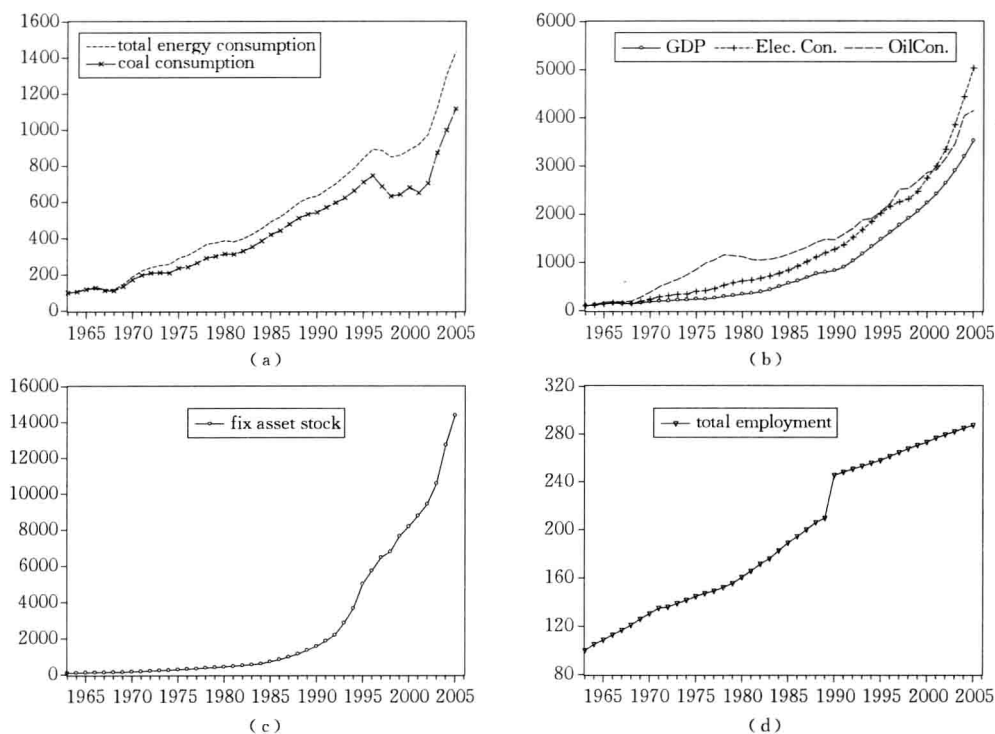


图 1-1 研究中的变量的趋势 (取对数, 1963 年为 100) (来源: 中国国家统计局)

总就业人数在 1990 年发生大的改变, 主要是因为就业人数的统计口径的变化 (虽然在中国的就业统计和其他变量的数据质量一直受到质疑, 但这方面的讨论已经超出了本书的范围)。当然, 在估计结果中所产生的潜在偏差应谨慎处理。关于能源消费, 虽然不打算详述中国的能源消费情况 (有兴趣的读者可见文献 [31-33] 中的详细讨论)。但中国 1997—2000 年间经济总量增长, 能源消费总量呈下降趋势, 这一令人费解的现象一直为学者所关注。许多作者解释了这一

现象^[31,34]。让我们来仔细分析这一现象背后的原因。一方面,期间的煤炭生产和消费的统计数据的质量是有瑕疵的。在20世纪90年代中期,中央政府开始要求大型国有煤矿限制产出,这是在煤炭开采业的一揽子改革计划的一部分,目的是解决国有煤矿的财政困难问题,其中包括从国有煤矿中大量裁员和关闭危险的小规模的非国有煤矿。1998年,政府要求25000个非国有小煤矿和40个国有煤矿关闭。据了解,1999年5月23000个小煤矿被关闭。统计显示,产量下降的部分来自于关闭的小煤矿,而大型煤矿的产量实际上是上升的。存在一些下令关闭的小煤矿继续生产,而产量却未被纳入生产统计的问题。另一方面,有一些合理的因素导致煤炭消费量下降。首先,煤的热值提高会降低煤炭的总需求。仅在公用事业部门,1997年交付煤炭的平均热含量比1996年高出200大卡/公斤,且1998年平均增长100大卡/公斤^[35]。撇开其他因素,在电力行业两年内因平均热含量增加而减少的煤炭消费量就达3000万吨。其次,节能减排政策的长期实施降低了中国的能源强度,并相应削减了能源消耗总量。图1-2显示了中国从1963—2005年的GDP能源强度和电力强度。很容易看到,自1977年能源强度到了顶点之后,在过去的20多年它以惊人的速度下降,每年下降约4.6%。抛开其他因素,这种下降意味着如果国内生产总值增长率低于5%,那么能源需求不会增加。考虑到在1990—1996年期间,年均国内生产总值增长率为12%,而到1997年国内生产总值的年增长率突然下降到两位数以下以至于出现了能源消费下降的现象,是可以理解的。第三,产出结构的变化也对能源的需求产生负面影响。在1997年,第二产业仍然占国内生产总值的47.5%,而在1998年这一比例下降到46.2%。据估计第二产业在国内生产总值中比例下降1%,国内生产总值能耗强度将下降0.9%。最后,中国正在经历能源的转型,是从一个低效率的固体燃料的使用向高效率的气体 and 液体燃料和电力的使用过渡的阶段。煤炭在能源消费总量的比例从1996年的74.7%下降到1999年的69.09%,与此同时,石油和天然气的比例从19.8%上升到24.7%,而且,电力在能源终端使用的比例消费量从1996年的12.2%上升到1999年的15.2%,因此在石油、天然气和电力替代煤的期间内对煤炭的需求减少。总的来说,有合理的因素导致煤炭和能源消费总量的下降,但能源品质和经济统计数据的偏差掩盖了事实。

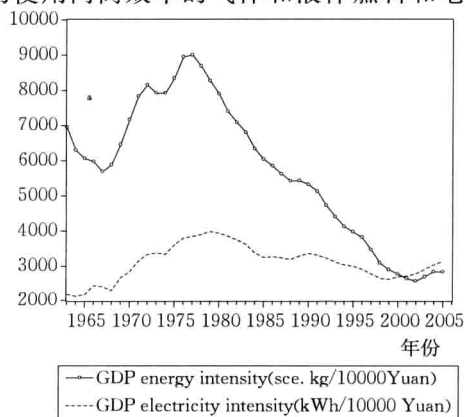


图1-2 中国国内生产总值
能源强度和电力强度(1990年价格)

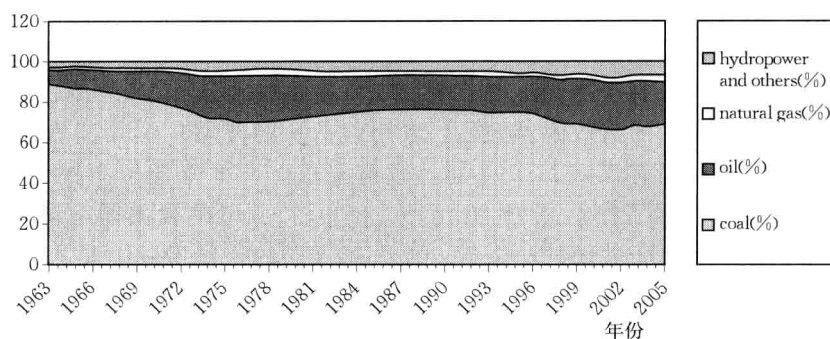


图 1-3 1963—2005 年中国一次能源结构（来源：中国国家统计局）

1.4.2.2 单位根检验

由于格兰杰因果检验对该时间序列的平稳性敏感，我们首先研究变量的平稳性问题。如果时间序列的平稳阶数相同，就可以进行协整检验。为了有稳定可靠的单位根检验结果，进行了 5 个不同的单位根检验，即 Augmented Dickey - Fuller (ADF) 检验、Elliot - Rothenberg - Stock Dickey - Fuller GLS detrended (DF - GLS) 检验、Phillips - Perron (PP) 检验、Kwiatkowski - Phillips - Schmidt - Shin (KPSS) 检验和 Ng - Perron MZ α (NP) 检验。此处限于篇幅将不讨论单位根检验的细节，感兴趣的读者请参见文献 [36 - 39]。

表 1-1 研究中所有变量的单位根检验结果

Item	ADF	DF - GLS	PP	KPSS	NP(MZ α)
<i>Panel A: Level</i>					
<i>Intercept</i> LEM	-2.04 (0; AIC, SIC)	0.32 (2; AIC)	-2.00	0.81 ^a	0.99 (1; SIC)
LTE	-1.00(1; AIC, SIC)	0.47(1; AIC, SIC)	-1.32	0.81 ^a	0.56(1; SIC)
LEC	-0.91(0; AIC, SIC)	2.03(9; AIC)	-1.14	0.83 ^a	1.60(2; AIC)
LCL	-0.75(1; AIC, SIC)	0.55(1; AIC)	-0.80	0.81 ^a	0.83(1; SIC)
LOL	-2.36(1; AIC, SIC)	0.08(1; AIC, SIC)	-3.85 ^a	0.77 ^a	0.22(1; AIC)
LAS	0.95(3; AIC, SIC)	0.14(1; AIC, SIC)	1.33	0.81 ^a	-2.25(1; SIC)
LGDP	1.00(1; AIC, SIC)	-0.21(8; AIC), 1.2(1; SIC)	1.31	0.82 ^a	1.45(1; SIC)
<i>Int. and</i> LEM	-0.91(0; SIC, AIC)	-1.06(0; AIC)	-1.04	0.19	-2.92 (0; SIC)
<i>trend</i> LTE	-2.86(1; AIC, SIC)	-2.55(1; AIC, SIC)	-1.94	0.17 ^b	-12.29(1; AIC)
LEC	-2.50(9; AIC)	-2.19(0; AIC, SIC)	-2.78	0.16 ^b	-6.43(0; SIC)
LCL	-2.93(1; AIC, SIC)	-2.85(1; AIC, SIC)	-2.10	0.18 ^b	-15.80(1; SIC)