

中国能源供求模型 与发展对策研究

张丽峰 著



东北大学出版社
Northeastern University Press

中国能源供求模型 与发展对策研究

张丽峰 著

东北大学出版社

·沈阳·

©张丽峰 2008

图书在版编目 (CIP) 数据

中国能源供求模型与发展对策研究/张丽峰著. — 沈阳: 东北大学出版社, 2008.11

ISBN 978-7-81102-620-7

I. 中… II. 张 III. 能源经济—供求关系—研究—中国 IV. F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 174922 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com Web: <http://www.neupress.com>

印 刷 者: 沈阳市北陵印刷厂有限公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm×228mm

印 张: 10.75

字 数: 199 千字

出版时间: 2008 年 11 月第 1 版

印刷时间: 2008 年 11 月第 1 次印刷

责任编辑: 王兆元 牛连功

责任校对: 王艺霏

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-620-7

定 价: 25.00 元

前 言

能源是人类生存、经济发展、社会进步和国防安全不可缺少的重要物质资源。纵观人类社会发展历史，人类文明的每一次重大进步都伴随着能源的改进和更替。发达国家的工业化过程消耗了大量的自然资源，特别是能源资源，当前一些发展中国家正步入工业化阶段，能源消费增加是经济社会发展的客观必然。

中国是当今世界上最大的发展中国家，也是全球第二位的能源生产国和消费国。能源供应和能源消费的持续、快速增长，不仅为经济社会发展提供了重要支撑，也为世界能源市场创造了广阔的发展空间。21 世纪中叶以前将是我国实现工业化的关键时期，也是经济结构、城市化水平、居民消费结构发生明显变化的阶段，经济和社会等领域将发生许多革命性的变化，能源领域也将面临着诸多挑战，能源消费和供应结构也会发生相应的变化。科学地对我国能源需求和供给进行分析、预测，研究能源替代问题，对于制定正确的能源发展战略，建设资源节约型、环境友好型社会，增强可持续发展能力，建设创新型国家，促进我国国民经济宏伟战略目标的实现，都具有重要意义。

经济学是为解决资源稀缺问题产生的，能源资源相对于人类需求在数量上也是不足的。随着经济的发展，能源资源稀缺性问题越发凸显，对能源经济问题的研究引起了世界广泛、高度的重视。人们对能源资源稀缺性的认识有一个历史过程，对能源经济问题的研究也随之逐步深入和发展。20 世纪 70 年代前，世界能源的生产和供给相对充裕，能源资源的稀缺性不是个大问题，人们主要研究如何充分和最大效率地开发利用能源来满足经济发展的需要，重点是单一的能源资源开发利用政策。20 世纪 70 年代后爆发的石油危机引发了大规模的能源经济研究。这一时期能源经济研究经历了两个发展阶段：从 20 世纪 70 年代到 80 年代初，研究重心是能源短缺或危机问题，注意对能源资源的公平分配和有效配置、能源效率的提高、能源经济协调发展等问题的研究；20 世纪 80 年代中期以后，更加关注能源可持续性问题，特别是环境问题。探究能源、环境与经济增长的关系，寻求持续协调的发展目标，便成为研究的难点与前沿。关于能源需求与供给、能源要素与其他生产要素之间的替代、能源与经济增长关系的计量经济学模型和应用软件更多地被使用，特别是一些关于能源、环境与经济增长的大型宏观经济模型得以建立并被广泛采纳。最近几年，人们对能源稀缺（如能源价格持续上涨）和环境污染

(如气候变暖)的担忧和恐惧正在将能源经济学研究推向日益重要的位置。

我国早期对能源问题的研究主要在如何开发利用能源资源方面。20世纪80年代起,一些国内学者开始进行能源经济研究。20世纪90年代初以来,随着经济不断增长和能源问题日显重要,国内在能源经济学方面的研究也有了发展。我国目前对能源经济问题的研究以定性分析为主,系统、综合的定量分析较少,因而本书以我国能源安全、自身能源资源优势为切入点,立足于经济增长理论,运用多学科的现代的定量分析方法,建立了能源供求模型,对我国21世纪前50年的能源供求总量与构成进行了预测,分析了能源供求缺口问题,建立了能源替代模型,确立了能源替代方案,提出了切实可行的能源发展对策。

本书是在作者博士学位论文基础上增改修订而成的,并努力突出以下特色:

(1) 以当今前沿的经济理论和方法为基础,引入系统动力学和灰色系统的理论与方法研究能源经济问题,实现了多学科理论与方法的交叉融合,主要运用了能源与环境约束下的内生经济增长理论、能源替代理论、计量经济学理论、能源经济学理论、系统动力学和灰色系统理论等。

(2) 突出运用定量分析方法建立能源分析模型,注重多种定量方法的甄选和综合运用,避免单一模型的局限性,增强分析结果的科学性和可靠性。虽然模型较多,但尽量保持分析过程和数据的完整,以提供更多的信息。模型的运算运用了大量计算机软件,如Eviews 5.1, Vensim PLE, Statistica 6.0等。

(3) 本书的研究方法和结论可为能源发展战略提供坚实的理论基础,也对我国当前的一些能源政策进行了解读;运用恰当的定量方法对当前节能优先、立足国内的能源发展政策进行了很好的阐释,并且在大量定量分析的基础上提出了我国中长期能源发展的对策建议。

本书可以作为经济学、数量经济学、能源经济学等专业的教学参考书,也可以作为能源管理者及相关人员的参考资料。同时也希望能为我国能源经济学学科的进一步发展和完善贡献一点微薄力量。

由于作者知识水平有限,查阅和占有的资料不够全面充分,书中可能存在错误和不妥之处,敬请专家和读者不吝赐教、指正。

作 者

2007年12月

目 录

第 1 章 导 论	1
1.1 能源供求模型研究的意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 能源与经济增长	3
1.2.2 能源预测模型	6
1.2.3 能源替代	8
1.3 本书的结构框架与主要创新点	10
1.3.1 本书的结构框架	10
1.3.2 主要创新点	11
第 2 章 能源经济理论与模型	12
2.1 能源与经济增长理论模型	12
2.1.1 能源与经济增长理论	12
2.1.2 能源与环境约束下的内生经济增长模型	13
2.2 能源供求模型	17
2.2.1 中国能源供求模型	17
2.2.2 系统动力学模型	17
2.2.3 灰色系统预测模型	18
2.2.4 向量自回归模型	21
2.2.5 变权重组合预测模型	23
2.3 能源替代	26
2.4 小 结	28
第 3 章 中国能源需求预测	29
3.1 中国能源消费现状	29
3.1.1 中国能源消费结构	29
3.1.2 中国产业能源消费	29

3.1.3 中国能源消费特征与评价	31
3.1.4 未来世界能源需求发展趋势	32
3.2 能源需求预测模型	33
3.2.1 系统动力学模型	33
3.2.2 向量自回归模型	50
3.2.3 灰色 GM(1,1)模型	53
3.2.4 变权重组合预测模型	61
3.2.5 双重组合预测模型	66
3.3 小 结	68
第 4 章 中国能源供给预测	69
4.1 中国能源供给现状	69
4.1.1 中国能源资源状况与特征	69
4.1.2 中国能源的生产结构与生产规模	70
4.1.3 中国能源供给状况评价	74
4.1.4 未来世界能源供应发展趋势	75
4.2 中国能源生产总量预测	76
4.2.1 能源产量 GM(1,1) 预测模型	76
4.2.2 能源产量趋势预测	77
4.2.3 能源产量组合预测模型	79
4.3 煤炭产量预测	80
4.3.1 国内学者关于未来煤炭产量的预测	80
4.3.2 中国煤炭产量预测	82
4.3.3 煤炭产量组合预测模型	84
4.4 石油产量预测	86
4.4.1 石油产量龚伯兹模型	87
4.4.2 石油产量罗吉斯蒂模型	88
4.4.3 石油产量 Verhulst 模型	89
4.4.4 石油产量组合预测模型	90
4.5 中国天然气产量预测	92

4.5.1 天然气产量 GM(1,1)预测模型	92
4.5.2 天然气产量的趋势预测	94
4.5.3 天然气产量组合预测模型	95
4.6 能源生产量综合分析	97
4.7 小 结	98
第 5 章 中国能源替代研究	99
5.1 能源供给与需求的缺口分析	99
5.2 能源与资本的替代	101
5.2.1 变量的选取	101
5.2.2 模型的估计	103
5.2.3 替代弹性与边际替代率的预测	106
5.3 煤炭对石油、天然气的替代	107
5.3.1 替代的必要性	107
5.3.2 替代的定量分析	108
5.4 常规能源与新能源之间的替代	118
5.4.1 新能源发展的局限性	118
5.4.2 核代煤	119
5.5 小 结	122
第 6 章 影响能源需求和供给因素分析	123
6.1 影响能源需求主要因素分析	123
6.1.1 经济增长对能源需求的影响	123
6.1.2 产业结构对能源需求的影响	127
6.1.3 技术进步对能源需求的影响	132
6.1.4 综合影响	135
6.2 影响能源供给的主要因素	136
6.2.1 能源赋存对能源生产的影响	136
6.2.2 技术进步对能源生产的影响	137
6.2.3 生产建设对能源生产及结构的影响	138
6.3 小 结	139

第7章 中国能源发展对策	140
7.1 中国能源发展战略定位	140
7.2 国外能源政策对我国的启示	142
7.3 中国能源发展的具体措施	143
7.3.1 节能优先, 提高能源利用效率	143
7.3.2 调整能源结构	145
7.3.3 加大科技开发力度, 增加资金投入, 增强技术创新能力	148
7.3.4 加快能源工业体制改革	152
7.3.5 建立石油储备体系, 确保能源安全	153
7.3.6 加强政府宏观调控、能源政策与法规的制定和落实	154
7.4 小 结	154
结论与展望	155
参考文献	158

第1章 导 论

1.1 能源供求模型研究的意义

能源是经济发展和社会进步的重要物质基础，是影响人类生存环境的重要因素。按照党的“十七大”提出的全面建设小康社会目标的新要求，到 2020 年实现我国人均国内生产总值比 2000 年翻两番。这一时期是我国实现工业化的关键时期，也是经济结构、城市化水平、居民消费结构发生明显变化的阶段，又是中华民族实现伟大复兴的重要战略机遇期，经济和社会等领域将发生许多革命性的变化，能源领域也将面临着诸多挑战，能源的消费和生产结构也会发生相应的变化。届时，中国能否保证能源的可持续供应及能源安全，中国的能源供应能否满足经济增长和社会进步的需要，能否走出一条具有中国特色的能源可持续发展之路，在相当程度上取决于对我国能源供给和需求进行科学地预测，取决于在科学预测的基础上制定和实施的中长期能源发展战略。

改革开放以来，我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总量失衡，即能源供给量的短缺。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。此后，在需求的强大拉动下，国家一度鼓励发展乡镇煤矿以解决煤炭供应问题，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 年代后期和 90 年代中期，我国能源发展进入以解决电力短缺为主的阶段，仍然属于补短阶段。为解决能源供应短缺问题，国家明确提出了以电力建设为中心。第三阶段：1996 年下半年以来，我国的能源需求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，煤炭由短缺向过剩转变，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，我国以煤炭为主的能源生产和消费结构也引起了一系列的环境问题，能源与经济社会发展、环境保护之间的不协调逐渐显现出来。

21 世纪我国能源发展将面临更加严峻的挑战。一是资源压力。随着我国

经济持续快速的发展和人民生活质量的改善,能源消费总量和结构要有较大幅度的提高和变化,这需要有强大的能源供应做后盾。二是环境压力。可燃矿物燃料是全球最大的一个污染源,能源结构的演变需要一个长期的历史过程,今后相当长的一段时间内不会改变现有以矿物燃料为主的能源结构的主导地位,我国也不例外。目前,世界能源消费以油气为主,能源消费正在完成从以煤炭为主转向以石油消费为主的过程。由于资源自身赋存的限制,我国是世界上仅有的几个能源消费以煤炭为主的国家,目前煤炭产量占世界产量的 1/4 左右,1986 年煤炭在我国能源需求结构中的比重已高达 75%,进入 20 世纪 90 年代以后,煤炭需求增长速度减缓,煤炭在能源消费量中的比重下降到 66% 左右。煤炭的低热值、高排放给环境带来了沉重的负担,在我国,SO₂ 排放总量中煤炭大约占 90%,在 NO_x 排放总量中煤炭占 60%,在 CO₂ 排放总量中煤炭占 85%。用于发电的能源占我国能源消费的 1/3 以上,发电用煤占煤炭消费量的 38% 左右,随着这一比重的不断增加,控制发电污染排放将成为备受关注的领域。我国的能源需求结构是否转向以石油为主,能源生产结构又会发生怎样的变化,也是本书所关注的重要问题。

随着我国社会主义市场经济体制的建立和进一步完善,市场逐渐成为配置资源的基础性力量,我国能源供需平衡将越来越依靠市场的资源配置作用。但同时又离不开国家对能源产业发展的宏观调控,一方面,国家对于那些影响国家经济命脉的能源产业要进行控制,给以扶持,以确保国家的经济安全;另一方面又不能统得过多过死,要逐步放开,对能源产业长期发展战略方向进行引导,以确保长期可持续能源发展战略的实现,使我国的能源发展成为实现我国在 21 世纪中叶赶上和达到届时中等发达国家水平这一战略目标的有机组成部分。对于能源问题,不论是市场机制的调节还是国家的宏观调控,都应以提高能源与社会经济、环境的协调发展为目标,而此目标的实现是建立在科学地进行能源需求和供给预测的基础上的。

能源系统是一个非线性复杂系统,社会进步、经济发展、科技进步和宏观政策都将直接影响能源系统的运行;相反,能源供求结构也直接影响经济结构、社会发展和环境变化。随着经济特别是科学技术的发展,国民经济各个部门间联系日趋复杂化,能源系统规模越来越大,相互联系也越来越复杂。我国的经济正处于转轨时期,我国的能源资源状况和能源结构与其他国家有很大不同。因此,本书综合运用经济学、系统动力学、灰色系统理论、计量经济学、能源经济学等多学科的理论与分析方法,尝试着综合运用多种定量预测方法,系统、全面地对我国能源供给和需求进行科学的预测,对于我国能源经济理论的发展和能源经济学学科的建设是一个有益的补充。

针对我国能源发展面临的矛盾和诸多挑战,对能源的需求和供给能力进行科学的预测,对能源供需缺口进行科学的评价,制定切实可行的能源替代战略,为制定我国中长期能源发展战略提供基本依据,对于我国能源的可持续发展、资源永续利用、小康社会及现代化目标的实现,节约型社会和和谐社会的构建,都具有重要的现实意义。本书的研究方法对于研究其他地区(省、市)的能源问题具有借鉴和指导意义。

因此,为了确保我国国民经济发展战略目标的顺利实现,构建资源节约、环境友好、社会和谐的局面,科学、合理地预测我国能源供求情况,制定能源发展政策具有重要意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 能源与经济增长

1.2.1.1 经济增长理论发展脉络及其困境

如果把人均国民收入(或国内生产总值)作为衡量一个经济体(国家或地区)经济成果的标尺,那么,经济增长理论就是研究一定时期决定国民收入的因素、这些因素与国民收入的相关性及随着时间的推移人均国民收入水平演进的路径或趋势的一门学科。

对经济增长要素的探讨,既是经济学的核心问题,又是经济思想史上最悠久、争论也最多的论题之一。当经济学家努力解释人类生产率和收入方面持续增长的现象时,他们发现,为了把握这一复杂现象,必须将越来越多的要素纳入分析框架。经济增长理论的发展轨迹表明,经济增长理论的发展说到底就是反映决定经济增长的核心要素变化的理论概括的发展。

比较系统的增长理论可以追溯到包括配第、魁奈在内的,以亚当·斯密为代表的古典政治经济学派。配第研究了国民财富创造的源泉并涉及国民财富的核算问题。重农学派研究的重点是以土地为核心要素的国民财富创造过程。斯密率先提出了较为系统的经济增长理论,认为分工导致的劳动生产率的提高和生产性劳动在全部劳动中所占的比例是决定国民财富增长的主要因素。增长的动力在于劳动分工、资本积累和技术进步。与亚当·斯密从生产角度分析国民财富增长的原因不同,大卫·李嘉图从分配角度即把重点放在了研究工资、利润和地租的相互关系上,亦即研究分配对经济增长的影响上,并强调资本积累是经济增长的关键。马克思继承了英国古典经济学的合理观点,即土地和劳动是构成国民财富的源泉因素的思想,并创新了劳动价值论。阐明自然资源是创

造财富的物质基础,劳动是创造财富的唯一源泉,同时指出经济制度必须适应生产力(包括自然生产力和社会生产力)才能促进经济增长与发展。边际学派出现以后,马歇尔又将产业组织作为促进经济增长的重要因素提了出来。

自亚当·斯密分析了制度对经济增长的作用以后,当代发展经济学家阿瑟·刘易斯、西奥多·舒尔茨等也都注意到了制度成为制约经济增长的重要因素。只是从科斯开创了新制度经济学以后,制度才被直接视为影响经济绩效的重要变量而纳入经济分析框架。继而诺斯将制度变量加以拓展分析,进一步将其视为经济增长的内生变量,指出它是经济增长的原因。演化论制度经济学派的代表人物理查德·纳尔森、温特等一反新制度学派的新古典传统,从演化论角度对经济增长进行了富有成效的分析。

20世纪80年代新经济增长理论^[1-4]把技术进步由新古典增长理论^[5-6]的外生变量纳入经济增长模型之中,变为内生变量,并认为技术进步和人力资本是经济增长的决定性因素。总之,这些经济增长理论都对经济增长过程进行了颇有见地的分析,是对经济增长规律进行的有益探索。

与现代经济增长一并而来的是人类赖以生存的自然资源的枯竭与生态环境的日益恶化。在诸多经济增长理论指导下的各个经济体的增长实践都或早或晚地、不同程度地遭遇了以上经济增长的困境。

总体看来,经济增长理论困境的理论原因在于^[7]:第一,从理论出发点来看,经济增长现象单纯从经济维度加以分析,并且仅仅把经济增长看做物质财富的线性增加过程,而舍弃了环境与生态要素对经济增长产生的基础性制约关系。第二,从研究视野来看,将经济系统作为一个完全孤立、封闭的系统加以把握,没有看到经济增长是经济要素与自然资源或自然资本要素有机整合的过程。第三,经济增长衡量标准缺乏生态维度。第四,经济增长的制度变量虽然已被马克思、诺斯等人内生化了,但仍然缺乏对自然资本代际产权的分析。

总之,西方主流经济学之所以不能很好地解释经济增长与生态危机并存这一矛盾现象,其理论根源在于它将经济系统与生态系统对立起来,甚至将前者置于后者之上。同时,西方主流经济学只把进入生产过程中的那部分自然资源看做劳动对象,大大低估了环境资源的作用。首先,作为劳动对象被纳入经济学范畴的这部分资源(土地、矿藏等)只是环境资源的一部分,它忽略了整个环境资源作为生产和生命支持系统以及生产和消费对象的重要性这样一个事实。其次,即使是对于被纳入劳动对象的这部分环境资源,也没有充分估计到它的重要性。充其量认识到自然资源是社会经济发展的重要物质源泉和条件,它的数量、质量、结构和分布特点对经济发展有着重要影响。而对于自然资源的有限性和不可逆性则或者根本没有涉及,或者认识不足。再次,一般认为劳动工

具是生产力发展水平的标志,这只是考虑了人力资本和技术资本的方面,却忽略了环境资本状况进入现代社会以后,在人类社会的强烈冲击下,环境资源已不再是取之不尽、用之不竭的了,供求关系的变化使环境资源成为稀缺资源。可持续的发展观强调的正是这些“不具有稀缺性要素”的稀缺性^[8]。

1.2.1.2 能源与经济增长

在充分肯定资本、劳动、技术进步、人力资本与制度因素对经济增长作用的基础上,还必须要注意到自然资源、环境要素对经济增长的影响,特别是20世纪90年代以来,伴随着“可持续发展”概念的提出,在对经济长期持续增长的分析中,将资源与环境纳入分析框架已成为建立经济可持续发展理论的必然要求。

早期的经济学家如亚当·斯密,强调的是土地在经济增长中的重要作用,当时因为能源的稀缺性,生产力低下还没有表现出来,因而其对经济增长的重要作用也没有被经济学家们所关注。

大多数的新古典经济学家认为,能源在生产中占有相对较不重要的地位,它是由资本、劳动和土地这些主要的生产要素所产生的一个中间变量。这个假设被当做计量经济分析的基本前提,并以Cobb-Douglas的资本和劳动力的双变量生产函数为其表现形式。过去人们分析能源对经济增长的影响,都是在这个框架内进行的^[9-11]。

直到20世纪70年代石油危机后,能源的紧缺才因机械工业的迅速发展而日益表现出来,能源在经济增长中的重要作用才被经济学家们充分关注。

能源问题在理论上的研究可以追溯到20世纪70年代早期罗马俱乐部的一系列研究,在其最具代表的《增长的极限》中,他们着重强调了能源对经济增长和社会发展的制约作用,引起了人们的广泛关注^[12]。

在各种中间投入中,能源的投入对生产过程具有特殊的作用。有人研究了20世纪数十年中电力在美国生产发展中的作用,认为电力使用的加强是技术进步、生产率增长的主要动力。乔根森使用这样的生产函数^[13-14]:

产出 = f (资本, 劳动力, 原材料, 电力, 非电力能源)

研究了电力和其他能源对美国部门经济的影响,他的结论是:“历史的证据说明了美国经济的单独部门水平上的技术变化是电力的使用。这意味着电气化在生产率增长中的核心作用。”

Cleveland^[15]实证分析了近10年来美国87个部门的经济增长,发现能源使用与GNP之间存在着一个非常强的相关关系,而且能源与GNP之比的变化在很大程度上受能源结构变化的直接或间接的影响。以能源使用与经济产出之间存在因果关系作为基本假设,对其他生产要素的作用没有充分考虑。

随着能源对经济发展的影响逐渐扩大,新古典经济学家的研究方法是,在其先验理论的基础之上,检验世界能源的相对价格对潜在 GNP、收入分配、资本形成和经济福利等的影响^[16]。

除了在新古典经济学的理论框架内研究能源使用或能源价格对经济产出的影响外,另一些学者将能源投入作为生产要素矢量中的一个分量。Rashe 和 Tatom 首次将能源使用引入 C-D 生产函数,他们力图寻求能源利用和经济增长之间更符合实际过程的基本规律。与以前的研究相比,该方法具有约束条件少的优点,因而引起人们广泛的关注^[17]。

我国学者赵丽霞^[18]将能源作为新的变量引入 C-D 生产函数,建立向量自回归模型,研究经济增长与能源使用的关系,得出能源在中国经济发展过程中具有不可替代的作用。王海建^[19]利用卢卡斯的人力资本积累内生经济增长模型,将耗竭性资源纳入生产函数,得到了模型的平衡增长解及在耗竭性资源可持续利用下的政策含义。田立新^[20]等建立了带能源约束的新古典经济增长模型和卢卡斯经济增长模型。赵丽霞没有考虑到能源的可持续利用;王海建虽然考虑了耗竭性资源的可持续利用,但没有考虑到资源存量变化的问题;田立新等虽然考虑到了能源的可持续性和能源的存量变化,但没有考虑到环境污染问题。因为环境污染和能源的消耗有直接的关系,而且环境污染已经威胁到了经济的可持续增长,因此,本书对此加以改进,建立带有能源和环境约束的经济增长模型,目的是为能源的可持续利用、环境保护和经济的可持续增长提供理论依据。

1.2.2 能源预测模型

能源的需求和供给直接关系到国民经济的发展。正确编制能源计划和国民经济计划,首先遇到的一个问题是,为满足国民经济发展和提高人民生活水平,究竟需要多少能源,能够生产多少能源,能源供需是否平衡,这就必须对能源需求量与能源供给量进行科学预测,以科学的、较为准确的能源供需预测为依据,正确地处理好国民经济发展与能源供需的关系。

近年来,在能源生产与消费系统研究上,国内外很多权威机构和学者就各类层次的能源系统研究提出了众多的模型。国外的能源系统模型的研究大致可以概括为四个阶段^[21]。

第一阶段为 20 世纪 70 年代以前,大多采用建立单目标函数的能源模型对能源需求和供应进行预测和规划,以市场均衡或能源供需平衡为理论基础,应用计量经济学、运筹学、图论等理论和方法,建立能源投入产出模型、能源供应系统模型、能源投资模型和能源需求预测模型等,并将其相互连接,构成庞

大的经济能源模型系统。由于能源系统的复杂性,存在着众多的不确定性和随机性,能源系统分析者往往在建模时简化了很多条件,并把一些不确定性因素加以确定化,在一个目标的前提下进行方案优化。但规划系统在设计、分析、决策时一些因素和条件将随时间发生变化,这将导致预测结果的失效,所以,按模型运算和得到的结果不足以作为决策的依据。

第二阶段为20世纪70—80年代“石油危机”之后,能源系统研究日益受到人们的重视。这一时期建模的特点是由独立的能源模型发展为大规模的能源模型系统。这一阶段提出的既有世界级的能源模型,也有综合若干国家的区域级的能源系统模型以及国家级系统模型和省市级的能源系统模型。如美国的布鲁克海文能源技术-经济模型系统(国家能源模型系统)^[22],日本的国家能源经济模型系统,比利时的EFOM-12c能源系统最优化模型^[23],德国的玉里希核能研究所建立的MARKAL模型^[24],苏联的能源系统预测等,都是在这—时期建模和应用的。能源系统决策模型应尽可能在考虑多种可能发生的情况下进行规划和决策,供决策者参考和使用。

第三阶段为20世纪80年代之后,在已有能源系统模型的需求和供应中,采用人机对话,以便与决策者及时交流信息,使制订出的能源系统模型能更充分地考虑决策者当时的要求与希望。

第四阶段为可持续发展的宏观能源系统模型。此模型研究起源于能源-经济模型,如世界能源-经济模型,模型体系由宏观经济模型、关联模型、能源需求模型、资源模型环境影响模型、能源供应模型、经济影响等子模型组成,并与其他社会模型(如人口模型等)相衔接。可持续发展的能源系统更新了单纯以增加能源供应来满足需求的传统思维模式,提出了以能源、环境、经济整体协调优化,实现能源可持续发展的一个全新的概念,使能源建模和能源规划的思想发展到了一个新的阶段。因此,可持续发展的能源系统建模和规划成为近年来在国际上兴起的一个具有重大影响的研究领域,对其进行广泛、深入的研究有着重要的理论和实际意义。

我国从20世纪80年代初期开始了对能源系统的研究,在理论方法和实际应用上都取得了很大的进步,开始了国家级、地区级或部门级的能源模型的研究工作,如华中工学院国家能源模型(HNEM)、华中工学院农村能源模型(HREM)、东北经济区经济发展与能源供需模型、甘肃省能源模型系统、北京地区能源系统规划模型、多地区能源系统供应模型等^[21]。我国能源科学工作者提出建立的国家能源供应体系(CNEMS)以及国务院经济技术社会发展研究中心提出的能源供应系统规划与决策模型等,都在建立能源模型系统方面进行了有益的尝试。

陈文颖、吴宗鑫用 MARKAL-MACRO 模型研究碳减排对中国能源系统的影响,建立了能源-环境-经济结合的非线性动态规划模型——中国 MARKAL-MACRO 模型,并以此对中国未来能源发展与碳排放的基准方案以及碳减排对中国能源系统的可能影响进行研究^[25]。

总之,国外学者对能源预测模型的研究,经历了能源-经济模型、能源技术模型和能源-经济-环境模型的过程,而我国的能源预测模型,早期停留在能源-经济模型,对于资源和环境的考虑还很少,即使目前考虑了环境因素,也仍侧重于能源技术模型的建立,而对于能源需求和供给的预测方法比较单一,不能全面地反映能源供给和需求的发展趋势。因此,本书综合国内外学者的研究成果,针对我国的经济发展和能源资源状况,构建了能源供求模型。

1.2.3 能源替代

经济学中的替代源于微观经济学中的生产函数理论,Allen(1938)提出了基本的框架,而后被 Varian(1994)和 Takayama(1988)加以补充^[26-27]。

Hicks 于 1963 年提出用工资对利润率之比变动 1% 引起资本对劳动之比变动百分之几来衡量资本与劳动之间的替代弹性。在完全自由竞争条件下,工资对利润率之比等于劳动的边际生产力对资本的边际生产力之比。因此, Hicks 提出的替代弹性(记为 σ)可表示为

$$\sigma = \frac{d \ln(K/L)}{d \ln \left(\frac{\partial Y}{\partial L} / \frac{\partial Y}{\partial K} \right)} \quad (1.1)$$

Beattie 和 Taylor(1985)、Chambers(1988)对于应用生产理论提供了详细的介绍。

Ferguson 和 Pfouts(1962)、Bemdt 和 Christensen(1973)发展了生产函数中替代的理论背景。1971 和 1973 年,Christense, Jorgenson, Lau 以及 Samuelson(1973)^[28]提出了一个新的衡量生产要素替代性的指标,叫做份额弹性,其含义是:某第 i 种生产要素的价格变动百分之一,使第 j 种生产要素投入的价值在产出价值中的份额变动多少。份额弹性的数学表达式为

$$\begin{aligned} \epsilon_{ji} &= \frac{\partial V_j}{\partial \ln P_i} (P_1, \dots, P_n) \\ &= \frac{\partial^2 \ln P_0}{\partial \ln P_i \partial \ln P_j} (P_1, \dots, P_n) \end{aligned} \quad (1.2)$$

若 $\epsilon_{ji} > 0$, 则表示当 P_i 上升时 V_j 增大;若 $\epsilon_{ji} < 0$, 则表示当 P_i 上升时 V_j 减小;若 $\epsilon_{ji} = 0$, 则表示 V_j 不受 P_i 变动的影响。

Sato 和 Koizumi(1973)^[29]对于 Allen 的相对和交叉价格弹性进行了发展。