



• 经济管理学术文库 •

谭玲玲 / 著

中国煤炭需求 复杂网络结构建模研究

A Study on Modeling the Complex Net Structure
of Chinese Demand for Coal

本書從系統科學的角度出發，綜合運用系統工程、計量經濟學理論與方法，分析了近十幾年來中國煤炭工業發展狀況，以及能源消費結構、節能、環保等因素對中國煤炭需求變化的影響作用；分別運用間接預測法、因果回歸預測法、灰色系統理論、復合小波神經網絡等理論和方法對我國的煤炭需求進行了預測，並對預測方法及結果進行了比較分析；重點揭示了煤炭消費系統的結構特徵，通過建立煤炭需求系統動力學模型，進一步分析和研究了煤炭需求複雜系統的結構和規律，並對不同的經濟發展情景及政策下我國煤炭需求的未來發展趨勢進行了模擬仿真；對中國的能源發展規劃提出了政策建議。

本書從系統科學的角度出發，綜合運用系統工



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE



• 经济管理学术文库 •

中国煤炭需求 复杂网络结构建模研究

A Study on Modeling the Complex Net Structure
of Chinese Demand for Coal

谭玲玲 / 著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

中国煤炭需求复杂网络结构建模研究/谭玲玲著.

—北京: 经济管理出版社, 2009.5

ISBN 978-7-5096-0599-8

I. 中… II. 谭… III. 煤炭资源—动力需求—研究—中国 IV. F426.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 047585 号

出版发行: 经济管理出版社

北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 11 层

电话: (010) 51915602

邮编: 100038

印刷: 北京银祥印刷厂

经销: 新华书店

组稿编辑: 申桂萍

责任编辑: 李晓宪

技术编辑: 杨国强

责任校对: 陈颖

720mm×1000mm/16

15 印张

246 千字

2009 年 5 月第 1 版

2009 年 5 月第 1 次印刷

定价: 39.00 元

书号: ISBN 978-7-5096-0599-8

·版权所有 翻印必究·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部

负责调换。联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

目 录

1 绪论	1
1.1 选题背景及意义	1
1.2 国内外研究现状	4
1.3 研究内容、方法及技术路线	15
2 中国煤炭市场供需现状分析	19
2.1 煤炭工业的发展	19
2.2 煤炭资源禀赋分析	21
2.3 煤炭产量影响因素分析	23
2.4 煤炭消费情况分析	31
2.5 煤炭供求平衡状况及发展趋势	36
2.6 本章小结	40
3 中国煤炭需求影响因素分析	43
3.1 国民经济发展对煤炭消费的影响	43
3.2 结构调整对煤炭消费的影响	52
3.3 能源消费结构变化对煤炭消费的影响	61
3.4 环保意识加强对煤炭消费的影响	66
3.5 节能技术推广对煤炭消费的影响	69
3.6 国际能源市场发展状况对中国煤炭市场的影响	70
3.7 本章小结	73
4 煤炭需求预测方法分析	75
4.1 煤炭需求间接预测法	75



4.2	煤炭需求的因果回归预测	77
4.3	基于灰色理论的煤炭需求预测模型	83
4.4	煤炭需求预测的复合小波神经网络模型	87
4.5	本章小结	91
5	煤炭需求系统结构分析	93
5.1	电力行业煤炭需求子系统分析	93
5.2	钢铁行业煤炭消费子系统	110
5.3	建材行业煤炭消费子系统	123
5.4	化工行业煤炭需求子系统	133
5.5	国内其他用煤及煤炭出口影响因素分析	143
5.6	本章小结	145
6	中国煤炭需求系统动力学模型	149
6.1	系统建模的整体思路	149
6.2	煤炭需求预测的宏观依据	150
6.3	煤炭需求辅助预测模型	154
6.4	煤炭需求系统 SD 建模	160
6.5	煤炭需求系统仿真模拟	176
6.6	不同预测方法的比较分析	216
6.7	本章小结	218
7	结论及展望	221
7.1	结论	221
7.2	创新点	223
7.3	能源政策建议	224
7.4	存在的问题与进一步工作建议	226
	参考文献	227
	后记	236

1 绪论

本章对中国煤炭资源的重要性、煤炭消费与煤炭需求预测状况进行分析, 界定研究的主要问题, 明确研究的目的及意义, 综述能源需求研究理论及方法的相关文献, 确定研究内容、方法及技术路线。

1.1 选题背景及意义

1.1.1 问题的提出

能源是世界各国普遍关注的一个重要战略问题。因为能源是人类赖以生存繁衍、社会得以繁荣进步不可缺少的重要物质基础, 是关系到国民经济命脉和国家安全的重要战略物资。自进入工业化时期以来, 能源在任何国家的社会与经济生活中都起着无可替代的重要作用。为了满足不断增长的能源需求, 世界各国大量开采煤、油、气等化石燃料, 但总是供不应求, 多次出现全球性或区域性的能源紧缺, 甚而导致严重的经济危机, 而与年俱增的能源消费对环境造成越来越严重的后果。可见, 能源发展战略的合理制定关系到一国经济能否健康、稳定、持续地发展。

能源是国家经济发展的命脉, 在我国的建设中具有举足轻重的地位, 也是我国全面建设小康社会、建设和谐社会、实现社会经济可持续发展的重要物质基础。“十五”期间中国能源供求关系仍然比较紧张, 总体上需求大于供给, 进口大于出口。而中国又是一个煤炭生产与消费的大国, 煤炭在我国能源结构中占有重要地位并具有战略意义, 煤炭产业是中国重要的基础产业, 煤炭在中国的能源消费结构中一直占有 2/3 的份额,



煤炭行业的健康发展对保持中国国民经济的快速稳定发展以及保证中国的能源安全都具有举足轻重的地位。考察近十几年中国煤炭产业的整体运行状况,由于煤炭需求系统内部影响因素和外部环境不断发生变化,各因素之间的影响、制约关系复杂,对煤炭需求一直没有达到科学、准确的预测,国家发改委能源研究所在2002年就开始启动了我国2020年能源需求的预测和与国际研究所合作进行的研究,当时预测的数字是2010年煤炭需求量为12亿~14亿吨,2020年煤炭需求量为20亿~29亿吨。而实际情况是,2002年我国煤炭消费量已达到13.7亿吨,2003年为16.7亿吨,2005年已经达到了20多亿吨。即使考虑到统计误差,预测与实际数量的偏离也过大,无法为煤炭产业的规划和决策提供科学的依据,致使煤炭产业的发展一直在煤炭过剩和煤炭紧缺之间徘徊,造成中国的煤炭产业发展不能与中国的经济发展协调一致,既影响了国民经济健康发展,也造成了资源的极大浪费。

从煤炭实际消费情况看,2003年全国煤炭消费量为16.7亿吨,其中国内煤炭消费量15.9亿吨,净出口8000万吨。在国内煤炭消费中,电力用煤8.5亿吨,占50.3%;钢铁1.8亿吨,占13.7%;建材1.7亿吨,占17.1%;化工0.8亿吨,占6.15%;生活和其他用煤3.1亿吨,占19.5%。其中,电力、钢铁、建材和化工四大行业耗煤量约占全国的83%,耗煤增量则主要是电力、钢铁和建材,煤炭需求增量最多的是燃煤发电,新增装机和电厂增加小时利用数两因素大量地增加了对煤炭的需求,电力用煤比2002年增加约8000万吨;在钢铁行业能源消费中煤炭占70%左右,主要是炼焦用煤、燃料煤和高炉喷吹用煤,钢铁产量超常增长,拉动炼焦煤需求超常增长是2003年我国煤炭市场的又一个热点,钢铁工业耗煤增加0.3亿吨,建材耗煤比2002年增加约0.1亿吨,化工耗煤量变化不大。按照2004年的结构,电力、钢铁、建材、化工四大行业及生活服务、出口分别占煤炭市场的50.8%、14.5%、16.4%、5.8%和10.6%、4%。电力行业耗煤仍然占了煤炭市场的半壁江山。其中,发电占90%,供热占10%。钢铁行业对煤炭的需求75%是炼焦煤,其余是燃料煤。建材行业对煤炭的消耗量中,水泥占51%,墙体材料占26.4%,石灰占6.86%,玻璃、陶瓷等占15.72%。化工行业中化肥占62%,基本化学原料占20%,其他子行业占18%。2005年电力、钢铁、建材、化工四大行业煤炭消费量分别占煤炭消费总量的51.8%、17%、15.7%、5.7%,除发电、炼焦以外的其他用



煤所占比例下降。

由此可见,煤炭需求量的变化趋势与煤炭消费结构的不断变化密切相关,与煤炭需求子系统中各要素的发展变化密切相关,因此,对煤炭需求系统各组成要素、各影响因素、各影响关系进行深入的分析,更加准确地了解煤炭系统的整体结构及各种复杂的动态反馈机制,选择合理的经济预测方法,获得更加科学、准确的煤炭长期需求预测结果,是一项很有价值的研究课题。

1.1.2 研究的意义

(1) 探索复杂经济系统建模理论与方法。按照系统论的观点,任何系统都是由不同属性的组元(也称为子系统)构成的,系统内部各个组成要素之间相对稳定的联系方式、组织秩序及其时空关系的内在表现形式构成系统的结构。系统结构的含义包括两个方面:一是指组成部分的子结构及其相互间的关系;二是指系统内部的反馈回路结构及其相互作用。它反映系统的内部关系,是系统的一种内在的规定性。任何系统都具有一定的结构,系统的结构不同,系统的质的规定性就不同,系统就有质的区别。系统的结构是系统功能的基础,系统的功能依赖于系统的结构。

在现代科学的整体化和高度综合化发展的趋势下,人类面临许多规模巨大、关系复杂、参数众多的复杂问题,技术、生物、社会、经济等领域的很多复杂系统,都可用网络进行直观的刻画。经济系统是由不同属性的各种子系统相互关联、相互作用、相互渗透而构成的复杂动态系统,经济系统中的每一个子系统都是多因素、多结构、多变量的系统,可以继续分解成为下一级经济子系统。各个经济子系统之间都进行着非线性相互作用,每个子系统都不可能在不影响整体系统、其他子系统的情况下发生变化;各个子系统之间相互影响、相互制约,形成了一个具有多层次、多功能结构的庞大网络,在这个复杂网络结构中,任何局部的交互都是整个网络综合作用的结果,任何一个小小的突发事件都会引发整个经济系统的回应与反馈。当前的国际社会,国与国之间的距离随着现代化的通信设施、交通设施的涌现变得越来越小,国家与国家之间的经济往来越来越频繁,人类经济的发展越来越离不开环境的支持,在这个全球经济网络上,经济系统的构成要素越来越多,结构越来越复杂,对这种动态的、多变量、高



阶次、多回路和强非线性的具有复杂网络结构的反馈系统进行模拟分析和预测越来越困难,因此在现有复杂网络研究理论和实践的基础上针对复杂经济系统的高阶次、非线性、多重反馈性的虚拟复杂网络结构进行建模研究,探寻一种更为有效的反馈控制建模理论和方法,构建能够模拟各种经济变量交互影响的宏观模型,找出影响系统运行的关键因素和变量以及系统的运行规律,对解决复杂经济系统的规划、决策和控制问题具有重要的理论与现实意义。

(2) 探寻煤炭需求系统的有效模型及合理的需求预测方法,支持宏观决策。影响煤炭消费需求的因素很多,例如经济波动和产业结构升级、人口增长、居民消费结构、城市化水平、技术进步、能源替代、能源市场的完善、能源政策以及日益严重的环境问题等,这些因素互相影响、互相制约,形成煤炭需求动态的、多变量、高阶次、多回路和强非线性的具有复杂网络结构的反馈系统,探寻一种有效的建模理论和方法,构建能够模拟影响煤炭需求的各经济变量交互作用的结构控制模型,分析各要素之间的相互关系,获得更加科学、有效的预测结果,为我国宏观经济调控、能源规划提供科学的决策依据,对于保证我国国民经济健康、稳定、持续地发展具有重要的现实意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 关于复杂系统的研究

国外比较规模化的有关复杂性科学方面的研究一般认为是在 20 世纪 70 年代末或 80 年代中期开始的。先是对混沌系统的研究,我们知道罗伦兹的实验错误导致了混沌现象的发现。但是,当时学术界的主流仍然只注意到强调因果关系的确定性系统,直到 1975 年,美国数学家李天岩 (Li) 和约克 (York) 将罗伦兹的发现一般化,提出了著名的李—约克定理,从而正式定义了“混沌”(Chaos)的概念。混沌一词的提出引起了学术界极大的兴趣。1976 年,美国生物学家梅依 (R. M. May) 将李—约克理论应



用于生物种群的研究,采用形象的分枝理论描述李-约克定理及混沌现象。物理学家瑞勒(Ruelle)和塔肯斯(Takens)也用混沌理论去阐述流体力学中的百年难题——湍流机理问题。许多经济学家,如:斯徒泽(Stutzer)、德依(Day)、贝哈鲍比(Benhabib)、谢菲(Shafer)、沃尔夫(Wolff)、伍德菲德(Woodford)、丹克瑞(Deneckere)和普里曼(Peliman)等在20世纪80年代也从不同的角度成功地将混沌理论应用于经济管理的研究之中。1984年,由诺贝尔物理学奖获得者盖尔曼(Murray Gell-Mann)和安德逊(Philip Anderson)、经济学奖获得者阿罗(Kenneth Arrow)等人支持,组织了圣菲研究所(SFI),专门从事复杂系统的研究,试图由此找到一条迈向学科融合来解决复杂性问题的道路。1990年美国马里兰大学的物理学家奥特(Ott)、格里博士(Grebogi)及约克(Yorke)三人首先从理论上提出了混沌控制方法,后来简称为OGY方法。这些成果拉开了运用混沌理论与方法研究复杂性的序幕,为人类认识和控制复杂系统开辟了新的途径。

盖尔曼、考温、安德逊等杰出的科学家,提出学科整合和科学应从还原论向整体论方向发展,并提出了Agent(智能体)和Emergence(突现)等的概念。荷兰德(Holland)开创了基因算法、分类器系统,推动了神经网络算法的发展,归纳出复杂自适应系统的特征。郎顿(Chris Longtin)开创了人工生命理论,推动了元胞自动机理论的发展,提出了复杂吸引子的概念。他认为在不动点吸引子、周期吸引子和奇怪吸引子之外还有一类吸引子为复杂吸引子,即所谓的混沌边缘状态,在这种状态下系统表现出永恒的新奇性。

经过20多年的发展,复杂性科学取得了长足的进步,目前已经初步形成了混沌学派、结构学派、系统动力学派、自适应系统学派、暧昧学派等几个学派^[1](见表1.1)。

国内学者陈平(1988)研究了国外金融市场的混沌问题,首次证实了经济系统也存在混沌现象;宋学锋(1992~1998)系统研究了混沌经济学的一些基本理论问题,给出了混沌经济学的定义、界定了混沌经济学的研究内容与范畴、系统总结了混沌的定量特征及其判别方法,以离散混沌经济系统为对象,研究其混沌规律,提出了“区间分析法”,以便确定混沌发生的临界区间,研究了经济管理系统的复杂性度量问题,提出了混沌度的概念和计算方法。比较了混沌经济学与经典经济学的关系,总结出了混



表 1.1 复杂性科学研究学派

学派名称	代表人物	理论工具	复杂性所在	重要研究方向
混沌学派	Li-York, R. May, M.J. Feigenbaum R. Day 等	非线性方程	系统中	物理、经济、生物系统等
结构学派	Piece、Vickers Warfield 等	集合论、布尔代数、形式逻辑等	人脑中	经济管理理论、交互式管理
系统动力学派	Senge、Meadows、Forrester 等	常微分方程与计算机模拟	系统中	组织理论、社会经济系统
自适应系统学派	Kauffman、Arthur、Holland、Cowen 等	偏微分方程	系统中	经济、生物、认知等系统
暧昧学派	一些单独的研究学者	学科交叉	不明确	社会、科学、语言系统等

沌经济学的基本原理和研究方法，形成了混沌经济学基本的理论框架，在国内率先出版了《混沌经济学理论及其应用研究》的专著；黄登仕、李后强（1993）系统总结了非线性经济模型和研究方法，并出版了《非线性经济学的理论与方法》。

钱学森等人于 1990 年提出了开放的复杂巨系统的概念，并认为复杂问题实际上是开放复杂巨系统的动力学特性问题。^[2] 1992 年他们又提出了从定性至定量综合集成方法（Metasynthesis，以下简称综合集成方法）。^[3] 这个方法的内涵是：“①将科学理论、经验知识和专家判断力相结合，提出经验性假设（判断或猜想）；②这些经验性假设不能用严谨的科学方式加以证明，往往是定性的认识，但可用经验性数据和资料以及含大量参数的模型对其确实性进行检测；③对这些在经验和对系统的实际理解上建立的参数的模型，经过计算机仿真和计算，通过反复对比，最后形成结论；④这样的结论，就是我们在现阶段认识客观事物所能达到的最佳结论，是从定性上升到定量的认识。”这个方法保持和发扬了自然科学、社会科学的定量研究方法和定性研究方法的长处，吸收了整体论和还原论的优点，是还原论和整体论的结合，随后又进一步提出了“综合集成研讨厅”方法构想，用于分析复杂巨系统；戴汝为研究了认知复杂性问题并与于景元、王浣尘等合作承担“综合集成研讨厅”的理论、方法及应用研究的重点课题。

1999 年在成思危先生积极推动下，召开了以复杂性科学为主题的香山论坛，并主编出版了《复杂性科学探索》。组织专家翻译出版了复杂科学研究丛书：《智能优势：组织的复杂性》（王浣尘等译，2000）和《组织中的复杂性与创造性》（宋学锋等译，2000）；刘洪（2001）出版了《经济混沌



管理》；马军海、盛昭翰发表了“混沌时序的系统重构与预测技术”；曹庆仁、宋学锋（2001）发表了“基于复杂性科学的企业创新与管理”；2001年6月在中国矿业大学召开了第一届全国复杂性学术研讨会，标志着我国管理复杂性研究进入了重要的发展阶段。^[4]

虽然国内外学者在复杂系统理论研究方面作了不懈的努力，但是迄今为止，关于复杂系统的研究仍然存在一些问题：^[5]

（1）有关复杂性理论的研究和应用主要局限在物理、生物和经济管理领域，在其他领域，如社会科学和艺术领域的研究还相对比较滞后。

（2）许多复杂性问题的研究，尤其是社会科学领域，目前还主要停留在定性的层面，定量分析和模型的建立仍需要加强。

（3）数据的来源不充足，难以满足复杂性分析的需要。

（4）大多数研究集中体现在理论方面，可操作性不强。

从当前的复杂性科学研究状况我们可以看出，复杂性科学的研究方兴未艾，复杂性学科尚在初创阶段，各国的研究水平相差不大。当前的学科交叉性日益显现，科研成果也在向可操作的方向发展，所有这些都给复杂性科学注入了新的活力，复杂性科学的应用前景将更加广阔。

1.2.2 能源需求理论研究

国外真正对能源问题进行系统研究，是始于20世纪70年代。在此之前，人们对生产要素投入的认识一直笼统地满足于劳动力、资本和土地，能源最多看作是原材料的一部分，没有引起必要的注意，更谈不上对能源需求和经济增长间的关系做深入的研究。20世纪70年代初，丹尼斯·梅多斯（Dennis Meadows）等人，^[6]以整个世界为研究对象，通过研究世界人口、工业发展、污染、粮食生产和资源消耗五种因素之间的变动和相互关系，建立了所谓的“世界末日模型”，首次对能源问题进行了系统研究，通过电子计算机对此模型进行模拟和分析，最后得出这样的结论：如果维持现有的人口增长率和资源消耗速度不变的话，世界资源将会耗竭。后来20世纪70年代两次石油危机似乎证实了梅多斯等人所得出的结论，这不仅引起经济学家的注意，而且也引起了工程技术专家的关注。因此，在后来对能源需求问题的研究中，主要有两条理论途径：基于经济学理论和基于工程技术理论。



(1) 基于经济学理论的能源需求理论: Christensen 等^[7](1973) 从柯布一道格拉斯生产函数演化得出能源需求的超越对数模型, 首次将能源作为生产要素引入柯布一道格拉斯生产函数中, 从而对能源需求进行分析, 之后 Hudson 和 Jorgenson (1974)、Berndt 和 Wood (1975)、Jorgenson 和 Fraumeni (1981)^[8] 等人对此模型不同程度地进行深入研究, 结果他们发现, 此模型存在着一定的缺陷, 而且他们通过研究对其进行了不同程度的补充和修正; 一些研究者 (Griffin and Gregory, 1976)^[9] 在利用部门间和截面组数据 (panel data) 计算能源价格弹性时, 发现地区间的能源需求变化也会对长期能源需求产生影响, 进而他们通过国家间的、跨部门的数据进行研究并建立基于截面组数据的能源需求模型, 20 世纪 80 年代以来, 截面组数据研究在质量和数量上都增加很大, 特别是在计量经济学的支持下, 截面组数据模型得到了迅速的发展; Beenstock (1981)、Kouris (1983)、Bopp (1984)、Prosser (1985)^[10] 等人基于经济学的需求理论, 通过分析影响能源需求的因素, 建立能源需求函数来分析能源需求并预测未来能源需求, 这也是目前应用较多的、较广泛的模型形式之一, Noel D.Uri^[11](1993)、Mohinder Gill^[12](1995) 在此基础之上, 将气候因素引入能源需求函数中, 发展了能源需求函数, 使之更接近现实、更能解释其经济意义。

(2) 基于工程技术理论的能源需求理论: Fisher 和 Kaysen (1962) 对能源应用设备、技术效率和能源需求的相互关系进行了分析, 认为对于一种给定的燃料的需求取决于使用该燃料的设备的存量及其该设备的燃料效率和利用率, 得出了一种分析能源需求的模型, McFadden (1978, 1984)^[13] 在上述的基础之上, 通过研究发现上述模型存在许多概念上的困难, 基于这一点, 他补充和发展了上述模型, 把燃料应用选择描述为效用最大化的非连续选择, 并得出了以效用最大化为基础的非连续模型; 由于煤、石油、天然气等都属于不可再生资源, 由历史数据估测得到的计量经济学模型, 并不能反映这些不可再生资源在以后时期的储量或可消费量, 这也是能源经济研究面临的不确定性, 基于这一点, Pindyck 和 Griffin^[14](1978) 在对能源需求进行分析时, 考虑了时间和工程技术等影响因素, 并运用动态最优方法进行研究分析, 开辟了另一新的能源需求模型。

国内有关能源需求的理论研究, 比国外起步晚了 10 年左右, 始于 20 世纪 80 年代。之后, 基于国际形势和国内经济发展的需要, 我国学术界



越来越重视能源需求问题的研究。在借鉴国外的经验和结合我国的实际情况的基础之上,我国学者在 20 世纪 80 年代初和 90 年代中进行过两次大规模的学术研讨,^[15]基本上沿着两种思路来研究能源经济问题:一是从实物量或标准实物量的角度,研究国民经济发展对能源的需求;二是就价格论价格。^[7]

1.2.3 能源需求分析方法研究

20 世纪 70 年代爆发的“石油危机”使得各国学者关注能源问题的研究,将各种建模方法引入能源系统的研究当中。国内外许多能源或相关机构对能源需求进行过研究,得出了一些比较实用的建模方法,^[16]这些方法大致可以归结为:①部门分析法是根据能源消费量和经济增长速度之间的关系,直接测算一定经济增长速度和能源利用率下,各部门的能源消费量的一种方法。^[17]该方法将国民经济分成若干部门,分别计算各个部门的能源需求量,然后加总,得到能源需求总量。部门划分越细,预测的准确率就越高,反之,则预测的准确率就越低。^[18]吴宗鑫等^[19](1988)运用了部门分析法对我国的能源需求进行分析,并对未来能源需求进行预测。②时间序列趋势法是以研究对象的历史时间序列数据为基础,运用一定的数学方法使其向外延伸,来预测其未来的发展变化趋势。^[20]在预测能源需求时,是在过去能源消费增长的基础上进行趋势外推,其根本出发点是认为将来的能源需求与过去的能源消费规律变化不大。^[21]这种方法运用广泛,国内学者如李维杰(1996)、陈淑绵(1998)等分别运用回归模型和自回归移动平均模型对能源需求进行建模与分析,就是属于这种方法的范畴。③能源弹性系数法是把能源消费量与经济增长定量地表示出来,以考察两者关系一般发展规律,以此来分析未来能源需求。^[22]应用弹性系数法作为能源需求预测的手段,是根据历史上能源消费及其影响因素的统计数据,进行回归分析和找出合适的回归方程及其回归系数,以此回归方程为基础,对未来的能源需求进行预测。甘肃省计委^[23](1988)首次运用此方法研究本省的能源需求;陈书通^[24](1996)以此为基础,对未来能源消费与经济增长一般关系进行分析,但后来有学者认为能源弹性系数法存在一定局限性。^[25]④投入产出法,又称部门联系平衡法,是综合考察、分析国民经济各部门之间的数量依存关系以及消费积累的综合比例的一种方法。它



既可以作为综合统计分析和计划综合平衡的重要工具,也是进行能源需求预测的一种方法。^[26]应用投入产出分析法进行能源需求预测,需要具有一份实物型投入产出表。王海建^[27](1999)在分析我国能源消费特点的基础上,运用投入产出分析法,并借助中国1987年和1992年18部门能源经济投入产出表,分析了各部门生产技术结构变动和最终需求结构变动对能源需求变动的影响;中国科学院科技政策与管理科学研究所建立了基于投入产出的能源需求预测模型,国际上投入产出技术的一个重要发展趋势是将它与最优化技术结合。^[28-30]⑤20世纪80年代初欧洲 Rhys 提出了一种简单实用的因素分析法,接着,德国学者 Reitler、Rudolph 和 Schaefer 在其方法的基础上,加以完善,把影响工业能源消费的因素分解为四个部分,即工业总产值增长因素(Output Effect)、能源利用效率因素(Energy Intensity Effect)、工业结构因素(Structural Effect)以及其他因素(Residuals),简称 RRS 能源因素分析法。李俊^[31](1994)曾采用此种方法对我国区域能源供求进行分析。以上所运用的建模方法有一个共同的特点,即都是以传统的建模技术为基础的,而传统的建模技术有一个重要的前提条件:所分析的数据都是平稳的时间序列。

“二战”后随着各国的经济发展,各国经济变量表现出非平稳性,这使得传统的建模技术失去了前提条件,为了解决这一难题,恩格尔(Engle)和格兰杰(Granger)提出了协整理论。^[32]自协整理论提出以来,受到各国学者的关注,一些学者^[33-36]运用协整理论与误差修正模型对经济变量如居民消费、外资投资、同业拆借利率等进行了分析,并且得到了比较好的结果。近年来,灰色预测模型和人工神经网络模型用于非线性时间序列预测较为引人注目,其优点是在建模时都不需要计算统计特征,从理论上讲,可以适用于任何非线性时间序列的建模,^[37]徐明德、^[38]王立杰和孙继胡、^[39]王勇、林保江、^[40]荆全忠、张健^[41]等分析了灰色预测模型在能源预测中的应用;Fung, Y.H., Tummala, V.M.R.^[42](1993)进行了关于电力消费预测的人工神经网络模型与回归模型的比较分析;彭建良、李新建、王斌等^[43](1998)也运用神经网络方法对能源消费量进行了模拟分析和预测,但是这两种方法也有其不足之处,灰色预测方法由于其模型特点,比较适合于具有指数增长趋势的实际问题,对于其他变化趋势,则有时拟合灰度较大,导致精度难以提高;人工神经网络方法在应用中难以科学地确定网络结构,学习训练最优权数时,其BP算法存在陷于局部极



小值收敛的固有缺陷,从而影响预测模型的可靠性和准确性;小波神经网络(Wavelet Neural Network)是近几年国际上新兴的一种数学建模分析方法,是结合最近发展的小波变换与人工神经网络的思想而形成的,已经开始有效地应用于信号处理、数据压缩、故障诊断等众多领域,它是通过对小波分解进行平移和伸缩变换后而得到的级数,具有小波分解的一般逼近函数的性质,并且由于它引入了两个新的参变量,即伸缩因子和平移因子,所以小波神经网络具有比小波分解更多的自由度,从而使其具有更灵活有效的函数逼近能力,经过筛选恰当的各个参数,通过较少的级数项组成的小波神经网络就能达到优良的逼近效果,^[44]宁云才^[45](2003)运用复合小波神经网络对煤炭需求进行预测分析,复合小波神经网络拟合精度很高,但在系统结构变化较大时,用于预测未来仍然有较大偏差。近几年,国外预测领域出现了很多关于组合预测的研究,Yue Fang^[46](2003)通过分析得出了结论:组合预测模型比单一预测模型具有更好的准确性;Miche'le Hibon, Theodoros Evgeniou^[47](2005)分析了组合预测与单一预测方法的选择问题,指出组合预测方法并不是在任何的情况下都优于单一预测法,国内学者也对组合预测方法进行了研究和论证。^[48-49]

由美国麻省理工学院的福瑞斯特(Jay W. Forrester)教授1956年创立的系统动力学(System Dynamics)是一门研究信息反馈系统的科学,是以系统方法论的基本原则来考察客观世界,认为系统的行为模式与特性主要根植于其内部的动态结构与反馈机制,其最大的特点是采用定性定量结合,系统分析、综合与推理的方法,借助计算机的模拟,进行调查研究和政策分析。^[50]沈玉志^[51](2004)运用SD建立了中国能源发展预测模型。宁云才运用系统动力学方法对矿区生产效率、矿区可持续发展等问题进行了分析。^[52-53]实践证明,系统动力学对于处理高阶次、非线性、多重反馈的时变系统是很有成效的,SD模型被称为是社会、经济与生态等复杂大系统的实验室。^[54]

1.2.4 系统动力学在复杂网络结构研究中的实用性分析

(1) 系统动力学的概念及特征。系统动力学是福瑞斯特教授为分析生产管理及库存管理等企业问题而提出的系统仿真方法,最初叫工业动力学。1961年,福瑞斯特发表的《工业动力学》(Industrial Dynamics)成为经



典著作。随后,系统动力学应用范围日益扩大,几乎遍及各个领域,逐渐形成了比较成熟的新学科——系统动力学。

系统动力学是一门分析研究信息反馈系统的学科,也是一门认识系统问题和解决系统问题的交叉综合学科。它是系统科学中的一个分支。从系统方法论来说,系统动力学是结构的方法、功能的方法和历史的方法的统一。它基于系统论,吸收了控制论、信息论的精髓,是一门沟通自然科学和社会科学等领域的横向学科。^[55]

系统动力学的基本概念包括:①因果反馈。如果事件 A (原因)引起事件 B (结果),AB 便形成因果关系。若 A 增加引起 B 增加,称 AB 构成正因果关系;若 A 减少引起 B 减少,则 AB 构成负因果关系。两个以上因果关系链首尾相连构成反馈回路,亦分正、负反馈回路。②积累。本方法视社会经济状态变化为由许多参变量组成的一种流,通过对流的研究来掌握系统性质和运动规律。流的规程量便是“积累”,用以描述系统状态,系统输入输出流量之差为积累增量。“流率”表述流的活动状态,亦称决策函数,积累则是流的结果。任何决策过程均可用流的反馈回路描述。③流图。流图由“积累”、“流率”、“物质流”、“信息流”等符号构成,直观形象地反映系统结构和动态特征。④延迟。任何决策实施均需一定时间,此现象即为延迟。在流图上不易表述,通常用计算机程序中延迟指令来实现。⑤仿真语言。为使用方便,设计了 DYNAMO 专用语言,备有 20 多种函数,只需输入系统动力学议程和必要参数,即可向用户提供结果。

系统动力学方法是一种以反馈控制理论为基础,以计算机仿真技术为手段,通常用以研究复杂的社会经济系统的定量方法。自创立以来,已成功地应用于企业、城市、地区、国家甚至世界规模的许多战略与决策分析中,被誉为“战略与决策实验室”。这种模型从本质上看是带时间滞后的一阶差微分方程,建模时需借助于“流图”,其中“积累”、“流率”和其他辅助变量都具有明显的物理意义。它与其他模型方法相比,具有下列特点:^[56] ①适用于处理长期性和周期性的问题。如自然界的生态平衡、人的生命周期和社会问题中的经济危机等都呈现周期性规律并需通过较长的历史阶段来观察,已有不少系统动力学模型对其机制做出了较为科学的解释。②适用于对数据不足的问题进行研究。建模中常常遇到数据不足或某些数据难于量化的问题,系统动力学借助各要素间的因果关系、有限的的数据及一定的结构仍可进行推算分析。③适用于处理精度要求不高的复杂的