

# 复杂适应系统视角下国家能源安全的 概念内涵及研究范式

房树琼<sup>1</sup>, 杨保安<sup>1</sup>, 余 垠<sup>1</sup>, 武治普<sup>2</sup>

(1. 东华大学 旭日工商管理学院, 上海 200051; 2. 平顶山煤业(集团)公司朝川矿, 河南 平顶山 467523)

**摘 要:**社会经济系统中的一大类问题都是属于结构复杂、影响因素众多、变量之间关联性强的问题,具有高度复杂性。国家能源安全问题作为社会经济系统的一部分,显然与其具有相似甚至相同的特质。复杂适应系统理论的提出为人们研究分析此类问题提供了一个新的思路,指出了一个新的方向。首先介绍复杂适应系统理论,进而重新阐释国家能源安全的概念内涵,在对现有相关研究评述的基础上提出国家能源安全问题的一种研究范式,最后从复杂适应系统角度来分析国家能源系统,并指出进一步的研究重点。

**关键词:**复杂适应系统;国家能源安全;概念内涵;研究范式

中图分类号:F426.2

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2008)12-0154-04

## 0 引言

随着中国经济社会的持续快速发展,我国的能源资源禀赋和生产建设能力与巨大的能源需求相比,存在较大缺口(除煤炭能基本满足自给外,其它化石能源均需大量进口),能源稳定供给和安全性问题日趋尖锐。在这样的背景下,中国能源安全问题已受到我国政府和社会各界的广泛关注,国外许多研究机构也对我国的能源安全问题高度关注。然而,现有对国家能源系统的研究基本上都停留在简单系统和硬系统的思维方式上(研究者们多将能源系统视为确定的结构化的系统,且子系统之间的关系基本上是按线性关系来处理)。而实际上国家能源系统作为社会经济系统的一部分,具有经济管理系统的某些显著特点,若仍然使用研究简单系统的理论方法来研究国家能源系统,不可避免地导致模型和实际系统脱节,进而难以反映实际系统的真实状况。

复杂适应系统(Complex Adaptive System, CAS)理论为人们分析这类复杂性问题提供了一个新的研究思路,它激起了各个领域研究者的研究热情,并积极地将其应用于各自的研究领域。因而,从复杂适应系统的视角来重新审视国家能源安全的概念内涵和研究范式,将是一项富有意义的工作。

## 1 复杂适应系统理论评述

复杂适应系统理论是由美国学者John Holland<sup>[1-2]</sup>于1994年,在Santa Fe研究所成立10周年时在专题讲座中提出的理论。CAS理论是复杂性科学中的一个重要分支,它以进化的观点认识复杂系统,形成了一套比较完整的理论体系,对于人们认识、理解、控制、管理复杂系统提供了新的思路。

我们把系统中的成员称为具有适应性的主体(Adaptive Agent),简称为主体。所谓具有适应性,就是指它能够与环境以及其他主体进行交互作用。主体在这种持续不断的交互作用过程中,不断地“学习”或“积累经验”,并根据学到的经验改变自身的结构和行为方式。整个宏观系统的演变或进化,包括新层次的产生、分化和多样性的出现,新的、聚合而成的、更大的主体的出现等都是在这个基础上逐步派生出来的<sup>[3]</sup>。

在微观层面,CAS中的主体在与环境的交互作用中遵循一般的刺激——反应模式。所谓适应能力表现在它能够个体最优的原则下,根据行为的效果修改自己的行为规则,体现了主体不断适应环境变化的能力。这种能力使微观行为个体始终处于进化过程中。相应地在宏观层面,由这样的主体组成的系统将涌现出非线性、分化性、非周期性等种种复杂现象。

收稿日期:2007-06-04

基金项目:东华大学博士学位论文创新基金(001900605)

作者简介:房树琼(1980~),男,山东郯城人,东华大学博士研究生,研究方向为能源安全、管理决策分析与智能决策;杨保安(1938~),男,上海人,东华大学教授,博士生导师,研究方向为管理决策分析、智能决策系统及知识管理;余垠(1968~),女,乌鲁木齐人,东华大学副教授,博士研究生,研究方向为管理决策、危机管理;武治普(1975~),男,河南偃师人,平顶山煤业公司技术员,研究方向为煤炭开采方面的技术工作。

CAS理论把构成系统的成员看作是有自主行为能力、有明确个体目标的实体。更重要的是,CAS理论认为,正是这种主动的、反复的交互作用,以及主体适应环境变化的能力,才是系统发展和进化的基本动因。宏观的变化和个体分化都可以从个体的行为规律中找到根源。Holland把个体与环境之间这种主动的、反复的交互作用用“适应”一词加以概括。这就是CAS理论的核心思想——适应性造就复杂性。

CAS理论的最大贡献在于它提供了一种自底向上建模的研究方法。这种方法赋予组成系统的个体——Agent以简单的规则和关系,通过仿真来重现真实世界的复杂现象,这使得CAS理论具有与其它方法不同的、更具特色的、新的功能和特点。

## 2 国家能源安全的概念内涵

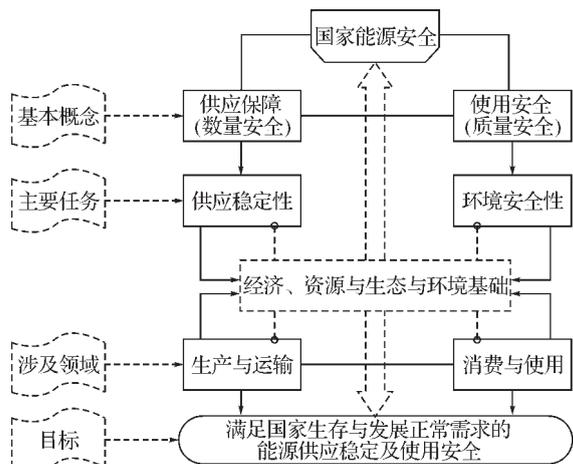
关于国家能源安全的概念,主要有以下3种:

(1)国家能源安全是能源供应安全和能源使用安全的有机统一<sup>[4]</sup>。

(2)能源安全是指防止能源价格大幅度变动(上涨或下降)、能源供应突然中断以及能源污染对经济发展与社会环境所造成的危害<sup>[5]</sup>。

(3)能源安全是一个很广泛的概念,不仅包括石油供应安全,而且包括其它能源的供应安全,特别是天然气和电力,还包括能源与环境的协调发展。总的来说,就是要保证随时随地都有充足的、价格合理的、符合用户和环保要求的能源供应,以保障国民经济的可持续发展<sup>[6]</sup>。

由上可以看出,国内外对于能源安全的定义,尽管表述不同,但内涵比较一致,即国家能源安全主要由两个部分组成(见图1):其一,能源供应的稳定性(经济安全性),是指满足国家人口发展正常需求的能源供应保障的稳定程度,主要涉及能源生产和能源运输领域;其二,能源使用的安全性,是指能源消费及使用不应人类自身的生存与发展环境构成任何威胁,主要涉及能源消费和环境保护领域。



注:供应稳定性=经济安全性

图1 国家能源安全概念及构成

以上所述对能源安全的定义,主要是指能源消费及使

用不应人类自身的生存与发展环境构成威胁,侧重于将能源安全理解为一种“安全状态”。我们认为,这只是揭示了“安全”一个层面的含义,它还应具有另一方面或者说是更深层次的内涵,那就是能源安全涉及的主体必须具有抵御不安全因素(包括外界的危险源和自身的潜在威胁等)的能力,这里将其表述为“安全能力”。

从这个意义上说,若某一主体只是目前正处于没有危险、不受威胁的状态,而没有具备抵御将来有危险、受威胁的能力,这严格意义上只能称其是“准安全”或“疑似安全”的。因为形成这种安全状态的内外在环境一旦发生变化,出现影响这种安全状态的外部扰动或自身潜在的威胁因素被激活,则原来的安全状态将会被“有危险”或“受威胁”的状态所取代。而若该主体具有“安全能力”,当其面对威胁这种安全状态的内外在不安全因素时,就能够尽最大能力去消除这种不安全因素。因此,更确切地说,安全不仅表明某一主体处于免受危险和威胁的状态,还应具有免除危险和威胁的能力。从复杂适应系统的角度来理解,国家能源安全应指从国家利益的高度保障国民经济和社会和谐发展,以及人民正常生活所需的能源(特别是重要战略能源)免受威胁的状态和能力。这样就将其视为静态体系(安全状态)与动态体系(安全能力)相互作用的复杂适应系统,有助于我们更为全面深入地理解国家能源安全的概念内涵。

## 3 国家能源安全问题的一种研究范式——CAS的视角

目前国际上比较成熟的能源模型很多,研究内容涵盖了能源的各个领域,各模型在结构、功能、方法上大同小异,按建模方式划分如下:

(1)Top-Down Model。以经济学模型为出发点,集中表现一些经济参数与能源生产和消费之间的关系,主要适用于宏观经济分析和能源政策方面的研究。其典型代表是基于一般均衡理论的CGE模型<sup>[7]</sup>。

(2)Bottom-Up Model。以工程技术模型为出发点,以能源消费、生产方式为主进行供需预测及环境影响分析。以国际能源署IEA为核心开发的MARKAL模型<sup>[8]</sup>和瑞典斯德哥尔摩环境研究所SEI开发的LEAP模型<sup>[9]</sup>为代表。

(3)Mixed Energy Model。既包括自上向下的宏观经济模型,又包括自底向上的能源供应、需求模型。最具代表性的混合能源模型是美国能源部DOE开发的NEMS模型<sup>[10]</sup>和奥地利国际应用系统分析研究所IIASA与世界能源委员会WEC合作开发的IIASA-WEC E3模型<sup>[11]</sup>。

前述所提及的能源模型,都是目前国际上研究能源的权威机构开发的具有代表性的能源系统分析模型,这些模型已广泛应用于多个国家和地区的能源系统规划、能源经济战略以及能源环境分析问题的研究中。由于国家能源系统是涉及政治、经济、社会、环境等多领域的复杂系统,而复杂系统整体具有子系统不具备的一些特质(系统整体性

质往往在子系统层次上难以得到体现,仅从子系统分析的角度也难以解释整个系统的总体行为),显然探索构建能源—经济—社会—环境等的综合集成模型将是未来能源复杂系统分析与建模的发展趋势。

通过对国家能源系统的深入分析,可以将其视为是一类复杂适应系统。遵循复杂适应系统的研究思路,CAS内各个主体之间或主体与环境之间除了存在物质、能量和信息的交换关系外,更为微妙的是还存在着博弈关系。对于国家能源系统而言,我们认为国家能源安全态势的演化主要是来自于经济社会活动中的能源生产企业、能源消费公众等行为主体(CAS主体)由于过分关注其自身利益,而导致对资源环境人为破坏的结果,也是经济社会发展与资源环境保护冲突的产物。同时,国家能源系统运行与发展中出现的矛盾与冲突常常也是系统内各类主体博弈互动过程中的非均衡结果。对于国家能源安全问题的研究,传统研究方法比较难以描述这种博弈互动关系。为了探寻国家能源安全态势演化的根源,需要分析各类行为主体的博弈行为及其均衡结果,同时也需要开展必要的量化及仿真,而进一步的博弈定量分析更是需要借用CAS的思想(事实上CAS正是在此基础上产生的)。可见,借助CAS理论方法来进行国家能源安全研究具有较明显的优势,有利于我们透过表象而更加接近问题的本质。

#### 4 基于CAS的国家能源系统分析

国家能源系统从宏观上来看主要包括能源生产系统和能源消费系统。在计划经济时代,能源的生产与配给均由国家调控,能源的生产、消费关系也相对简单。而随着能源工业市场化改革的推进,能源的生产、消费将逐步由市场来配给,能源的生产企业与消费公众都有其自主权来决定生产与消费的数量及结构。这就产生了能源系统中的两类重要主体(或者说是基础性主体)——能源生产主体和能源消费主体。传统的对能源系统的研究大都着眼于这一认识层面,研究者们从各自的研究专长出发对能源的生产及消费进行了深入细致的研究,也取得了丰硕的成果,这些将为我们全面认识、深入分析能源系统提供有益借鉴。除此之外,我们认为还应重视对这两类主体自身发展及交互过程中各自所处“小环境”的研究,也就是对他们各自“行为环境”的考察。那么,是否存在这样一双“无形的手”来对能源系统内的生产及消费主体的这种“行为环境”施加影响呢?

事实上,通过对国家能源系统运行的深入分析以及本研究前述对国家能源安全概念内涵的诠释,我们认为,在能源的生产—消费过程中,政府部门应发挥国家宏观经济调控的职能,更应该对能源从生产运输到消费使用全过程的环境保护进行必要的规范和调控(这也可以认为是在科学发展观指导下,政府转变职能的必然要求)。同时,以大学和科研院所为代表的科研机构在政府技术政策引导和企业技术需求下,进行有效的研发和技术创新活动,它们

均对能源生产及消费行为产生影响,可以认为是两支“无形的手”作用于能源系统。由此,遵循CAS理论的研究范式来分析一国的能源系统,可以发现,所涉及的能源生产企业和能源消费企业类似一个个有自主性的主体,在能源系统中发生作用,它们相互影响、相互适应,同时还受到来自政府部门对宏观经济调控的影响和对环境保护法规的制约,以及来自于科研机构的研发和技术创新活动的有效促进。

基于上述分析,各类主体在自身发展与相互“博弈”的过程中所形成的这一复杂适应系统所涉及的主体(Agent)可概括为:

能源生产主体——涉及国家安全利益的能源生产企业(主要分析不可再生的一次能源行业,包括煤炭、石油、天然气行业,尤其以石油资源为考察重点);

能源消费主体——各类能源的消费者:包括产业部门(第一、二、三产业)及居民生活消费;

政府主体——国家宏观经济调控及环境保护的规范与调控;

科研机构主体——针对能源的生产和消费环节进行研发和技术创新。

由各类主体构成的国家能源系统如图2所示。

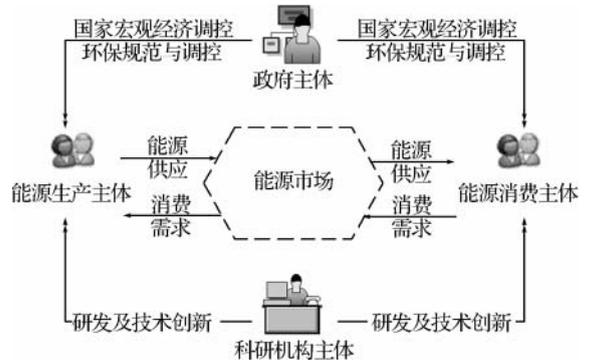


图2 基于CAS的国家能源系统结构分析

同时,我们认为国家能源系统中各类主体所具有的适应性、主动性以及自学习性的特质,体现为一种系统主体的共同进化。

不同能源消费主体可以根据自身的发展需求选择不同的能源形式进行消费,并可进行消费组合;

各类能源生产主体根据自身的资源禀赋、发展战略及市场行情来决定其生产策略;

政府部门依据国家宏观经济规划及社会发展目标,制定一系列能源生产及消费的制度安排与激励措施,同时依据环境影响评价、环境承载能力及环境保护目标制定相应的限制措施;

各类能源生产主体遵循政府引导和环保要求来调整各自能源生产策略;

与此同时,不同能源消费主体根据政府引导和环保要求,来调整各自能源消费行为(可用各类能源消费的类型与数量来反映);

相关的科研机构根据能源生产及消费主体各自的技

术需求,并结合政府的环保规范进行研发和技术创新。

可以看出,上述各类主体的行为将表现为一系列的决策行为,决策主体具有理性,是预期行为,各主体的决策包含自身固有的内在发展规律,同时不可避免地将受到各类随机因素的影响。这样,它们各自的行为结果将会导致一定的宏观结果,并体现出一类复杂适应系统的典型特质:在国家能源系统这类复杂适应系统中,能源生产主体为了追求企业利益以实现利润而进行生产活动;在各类产业发展及人民生活质量提高的需求下,能源消费主体不可避免地要消耗能源。而这两类主体的生产、消费行为均受到来自政府对宏观经济的调控和环境保护的影响,同时相关科研机构的研发和技术创新活动对能源生产和消费行为又会产生技术正效应(减少对能源的耗竭和对环境的污染以及提高能源使用效率)。因而从宏观上看,系统内各类主体的相互作用(博弈)就将导致系统的演化,即“涌现”出国家能源安全态势的变化。

## 5 结论

CAS理论为复杂性问题研究提供了一种基于适应性主体及其相互之间作用的建模与仿真分析方法,由于其思想新颖并富有启发,已激起了各个领域研究者的研究热情,并积极地将其应用于各自的研究领域。鉴于此,我们期望能够借鉴这种新的研究范式,把CAS理论与方法引入到国家能源安全问题的研究上来。本文正是基于这一研究思路重新阐释了国家能源安全的概念内涵,提出了国家能源安全问题的一种研究范式,并从复杂适应系统角度分析了影响国家能源安全的国家能源系统这一复杂系统。而针对文中提出的国家能源安全概念内涵及复杂适应系统视角下的研究范式,如何构建能够充分体现这一理念的国家能源安全评价指标体系,进而设计相应的评价策略,将是我们继续深入研究的重点。

## 参考文献:

- [1] J.H.HOLLAND.HIDDEN ORDER: How Adaptation Builds Complexity [M].Perseus Books,Reading MA,1995:1-15.
- [2] JOHN HOLLAND.ECHOING EMERGENCE:Objectives, Rough Definitions,and Speculations for Echo-class Models [C].Sciences of Complexity,Proc. Vol. XIX Reading. MA: Addison-Wesley,1993:16-23.
- [3] 许国志,顾基发,车宏安.系统科学[M].上海:上海科技教育出版社,2000:252.
- [4] 张雷.中国能源安全问题探讨[J].中国软科学,2001(1):7-11.
- [5] 赵英.超越危机——国家经济安全的监测预警[M].福州:福建人民出版社,1999:118.
- [6] IEA.世界能源展望[M].马爱山,等,译.北京:地质出版社,2002(3).
- [7] GURKAN SELCUK KUMBARO GLU.Environmental Taxation and Economic Effects:a Computable General Equilibrium Analysis for Turkey [J].Journal of Policy Modeling,2003,25(8):795-810.
- [8] BARRY NAUGHTEN.Economic Assessment of Combined Cycle Gas Turbines in Australia Some Effects of Microeconomic Reform and Technological Change [J].Energy Policy,2003,31(3):225-245.
- [9] JOOST SITEUR.The Long-range Energy Alternatives Planning model (LEAP)and Wood Energy Planning [EB/OL].2004-09. [http://www.rwedp.org/p\\_leap.html](http://www.rwedp.org/p_leap.html).
- [10] Energy Information Administration [R].Annual Energy Outlook 2003,DOE/EIA -0383 (2003) (Washington,DC,January2003).
- [11] LEO SCHRATTENHOLZER,PATRICK CRIQUILA Longer-term Outlook on Future Energy Systems [J].International Journal of Global Energy Issues,2000,14(124):348-373.

(责任编辑:陈晓峰)

# Concept Connotation and Research Paradigm of National Energy Security from the Perspective of Complex Adaptive System

**Abstract:** In a social economy system, the major problem belongs to the question which has complex structure, multitudinous influence factor, strong relationship between variables (has highly complexity). As a part of social economy system, questions of national energy security obviously has similar even same special characteristic as social economy system. Complex adaptive system theory provides a new mentality and points out a new direction for the people to analyze this kind of question. Firstly, theory of complex adaptive system had been appraised in the article, concept connotation of national energy security had been explained newly on this foundation, then a research paradigm of national energy security question had been proposed. Finally, this complex system of national energy security had been analyzed from the perspective of complex adaptive system, and further research work had been pointed out.

**Key Words:** Complex Adaptive System; National Energy Security; Concept Connotation; Research Paradigm