

# 控制论视角下对宏观经济建模的再思考： 为能预测经济危机，对建模的审视及趋势评述

万百五<sup>†</sup>

(西安交通大学 系统工程研究所, 陕西 西安 710049)

**摘要:** 论文依据工程控制论中的系统辨识理论, 就宏观经济系统建模的几个重要方面: 先验知识、建模假设、建模数据、机理的恒定性、可辨识性、因果性等进行审视和评论; 对宏观经济学术界, 有关经济模型的两个有争议的问题、两个责难和卢卡斯批判提出了看法. 鉴于审视的结果, 论文对现用模型经修补后能否预测危机持悲观态度. 为此, 简介了欧盟经济的巨型并联基于主体的经济模型 EURACE (agent-based computational model of European economy) 及其创新之处. 最后为能预测经济危机, 论文总结了建模的研究趋势, 包括动态随机一般均衡 (dynamic stochastic general equilibrium, DSGE) 模型和基于主体的可计算 (agent-based computational, ACE) 模型的结合、需要对宏观经济学进行反思, 以及加强对变结构系统辨识的研究等等.

**关键词:** 控制论; 宏观经济模型; 实证预测模型; 动态随机一般均衡模型; 基于主体可计算的经济模型; 系统辨识; 可辨识性; 变结构系统; 基于主体的欧盟经济模型 EURACE; 仿真研究

中图分类号: T811 文献标识码: A

## Rethinking macroeconomic modeling in the viewpoint of Cybernetics: Review and trend of modeling for predicting the next economic crisis

WAN Bai-wu<sup>†</sup>

(Systems Engineering Institute, Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi 710049, China)

**Abstract:** By the identification theory in Engineering Cybernetics the paper analyses and comments the macroeconomic system modeling in several important aspects: prior knowledge, hypothesis proposed, data used for modeling, constancy of mechanism, identifiability, causality, etc. The paper presents views on two controversial issues, two censures and Lucas critique of macroeconomic modeling in academic circle. By the results of review, the paper is pessimistic about whether revised current models can predict the next crisis. Therefore, the agent-based model of the European economy EURACE is briefly introduced in this paper. Finally the paper summaries the further research including the necessity to combine dynamic stochastic general equilibrium (DSGE) model with the agent-based computational (ACE) model, to rethink the macroeconomics, to strengthen the study of the variable-structure system identification and so on.

**Key words:** Cybernetics; macroeconomic model; empirical forecasting model; dynamic stochastic general equilibrium model; agent-based computational economic model; system identification; identifiability; variable-structure system; agent-based model of the European economy EURACE; simulation study

如果经济学是一门存在欠缺的科学, 则经济模型化是从经济的许多复杂事物中进行挑选并加以拼凑的技艺和科学.

——诺贝尔经济学奖得主约瑟夫·斯蒂格利茨

### 1 引言(Introduction)

经济学界认为美国政府在2007年金融危机初期错过对之调控和干预的最好时机<sup>[1]</sup>. 根据控制论的必需变异度律和工程控制论中混合法协调的一个条件: 对于国家级经济子系统, 其关联输入变量的维数加上协调变量的维数要大于关联输出变量的维数<sup>[2]</sup>. 这样, 国家级经济子系统在世界经济的环状复杂关联中, 必

须采取多种宏观调控手段(包括干预)和多个调控变量, 同时并及时调控才能对混合经济取得最好的调控效果.

当然, 国民经济系统实在太复杂, 如何选取最适当的调控手段和判断调控和干预时机, 确实非常困难. 这就需要能预测和处理危机的宏观经济模型. 然而, 现用的模型根本不能胜任这样的任务. 这就是美

国政府初期错过调控和干预的最好时机的根本原因。

控制论一直强调采用建立模型的研究方法,并且宏观经济系统建模是经济控制论的最重要的研究内容之一<sup>[3]</sup>。一个国家或地区的宏观经济数学模型是用来对其经济运行进行描述的解析工具。它是宏观经济系统的若干特征和内在联系理想化的、近似的、用数学语言表达的抽象。通常它被设计成为对一些集结量:如生产出商品和服务的总量、收入的总量、生产性资源的就业水平,以及价格水平等变量组成的动力学模型,再藉此进行各种研究<sup>[4]</sup>。

宏观经济系统的模型化的研发和应用经过多个阶段<sup>[4]</sup>:简单理论模型(又称数理经济模型)、实证预测模型(empirical forecasting models)、动态随机一般均衡模型(dynamic stochastic general equilibrium model, DSGE模型),以及基于主体可计算的经济学模型(agent-based computational economics model, ACE模型)。基于不同经济理论的、种宏观经济模型一般都能归属到上述4种或其变种之中。

作者与韩崇昭在近30年前发表了“控制理论与宏观经济模型”一文<sup>[5]</sup>。光阴荏苒,这期间正是宏观经济模型迅速发展的时期。20世纪70年代以来,从实证预测模型发展出来的大型宏观计量经济模型由于本身理论和实践上的挫败,例如,因为无法成功预测20世纪70年代的滞胀,受到诺贝尔经济学奖得主卢卡斯(Robert E. Lucas, Jr.)等的批判(见第2.1小节),逐渐让位给了DSGE模型。新千年的前后DSGE模型受到世界各国中央银行重视与采用,以作为货币政策分析及经济预测的工具。世界各大研究机构等都已研制了本国的DSGE模型。但因为不能预测甚至解释这次2007年开始的经济危机,它受到多方的责难<sup>[6-10]</sup>。

当前世界经济还未从2008年的危机中完全复苏过来,正处于深度调整之中,复苏动力不足,危机的教训深刻。宏观经济的建模研究向何处去?能否建立一个能预测从而能阻止危机的宏观经济模型?

## 2 从工程控制论的系统辨识来审视宏观经济系统建模 (From system identification of Engineering Cybernetics to survey the macroeconomic system modeling)

这里援引诺贝尔经济学奖得主斯蒂格利茨(Joseph E. Stiglitz)的名言:“如果经济学是一门存在欠缺的科学,则经济模型化是从经济的许多复杂事物中进行挑选并加以拼凑的技艺和科学”<sup>[8]</sup>。而本文认为挑选是基于宏观经济学的理论,拼凑则基于建模(辨识)理论(包括参数估计)和技术以及建模者的经验和技巧。

建立能预测和处理危机的宏观经济数学模型的严重困难,以及面对可能再次使肇的危机,应该重新思考宏观经济系统建模的各个方方面面。本文是从工程

控制论中的系统辨识的角度就宏观经济系统模型化进行对比、审视、思考及剖析。

首先,工程系统中待辨识的系统是,运行中的生产机械,它处在控制器的闭环控制之下。而在经济系统建模中则是运转中的国民经济大系统。它是对商品和服务的生产、分配和消费,其中包括与之相结合的各种管理机构、代理机构、消费者,也包括经济结构的一个特定的社会或区域的实体。从工程控制论视角它是一个多输入-多输出、多级递阶、按一定经济体制(例如我国的混合经济)运作的非线性的自组织的含有多个反馈有人参与的复杂开放的动态大系统。它与其他国家的国民经济动态大系统有复杂的关联,并处于各级相应管理机构的闭环管理调控之下,而需要模型化的是它的整体。

在工程系统中大多根据系统输入-输出数据采用系统辨识方法来建立系统(被控对象)输入-输出间的数学模型。而经济系统建立数学模型的研发工作,有自己很长时间的独特的发展历史和道路<sup>[5]</sup>,传统上称为建模或模型化。它与工程系统的辨识有不同之处,也有相似之处,术语也有差别。Mehra还对此专门作了对比<sup>[11]</sup>。经济系统建模可用来建立选定的外生变量和内生变量间,包括内生变量间的数学关系,参数估计是单方程逐个进行的。

对于工程系统,美国自动控制专家L·扎德(Zadeh)1962年给出辨识的定义:辨识就是在输入和输出的基础上由规定的一类系统(模型)中确定一个系统(模型),使之与被测(原待建模)的系统等价<sup>[12]</sup>。系统辨识著名学者L·荣(Ljung)1978年给出的辨识定义,对于宏观经济系统更加适用:“辨识有三个要素—数据、模型类和准则。辨识就是按照一个准则在一组模型类中选择一个与数据拟合得最好的模型”<sup>[13]</sup>。今将工程系统辨识的一般步骤表示在图1上。

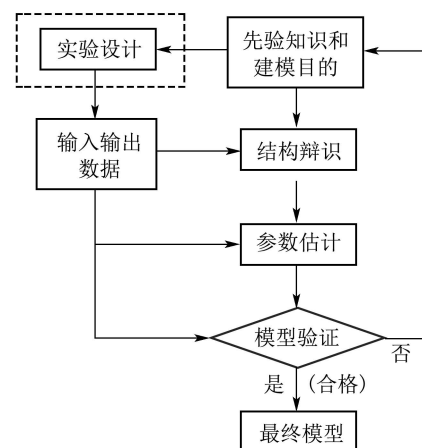


图1 系统辨识的一般步骤

Fig. 1 General steps of system identification

如以图1对照国民经济系统的建模,则图上“实验

设计”这一步骤在建模中是无法进行的,故外加虚线框加以标志.只能采用国家或权威机构的经济统计数据、研究单位的经济统计资料中查找所选变量的实际运行数据.

这样的统计数据(在经济系统建模中统称样本),不是由人为设计“优良”的输入信号,即所谓持续激励信号<sup>[12]</sup>激励而产生的.因而也就不可能充分激发待建模经济系统的所有可能的模态,包括发生经济危机的模态及滞涨的模态.为此,对数据质量的要求就成为首要的问题.

下文将就经济系统建模的主要方面从工程控制论的系统辨识理论的视角来逐项进行对比、审视、剖析和评述:

### 1) 先验知识.

为了对工程系统进行辨识,其先验知识比较明确:例如已知为一个机电系统,这系统的物理性质就是先验知识之一.物理学中的基尔霍夫定律、牛顿定律等都用来描述该类系统的某部分.辨识要建立的是系统的外特性模型、有时域模型、传递函数模型等模型类.

对于国民经济大系统,先验知识就是经济学家提出的宏观经济学,它分成“新兴古典学派”、“新凯恩斯学派”、“后凯恩斯学派”等来回答整体经济层面上相关的理论问题<sup>[14-15]</sup>.宏观经济学各学派的首要任务就是解释宏观经济现象.

建模者根据某派的经济理论及其假设,参照建模的目的,挑选和列出各个集结变量,以及绘出它们间的构架结构图,然后写出近似数学关系(表达式),也即内生变量与外生变量的关系方程式.这是建立宏观经济模型的关键的第一步.

宏观经济系统则采用包括系统内部变量的时域模型,如状态空间模型、微(差)分方程模型、或联立随机差分方程组模型等模型类.实际上现用的宏观计量经济模型都采用常系数的随机差分方程模型,即有随机变量的差分方程;而DSGE模型采用的随机差分方程带有定分布的随机变量.

从文[2]可知,经济系统拥有众多的内部正反馈和负反馈的复杂(包括各级调控、监管)回路,这就表明系统内部存在众多闭环.至于外部更有着大反馈进行闭环,体现在这次的宏观调控就是根据前次的调控后果而作出的(见维纳《人有人的用处》论反馈).这是一个由经济信息反馈的大闭环结构.统计数据所反映的正是这种完整的宏观经济大闭环系统.在这个意义上,政府在宏观经济系统中处在闭环之中,而不是在外.这就从控制论的角度对宏观经济学术界这个“政府在闭环之中,还是在外”的有争议问题<sup>[8]</sup>,提出了本文的理解.

### 2) 建模所基于的假设.

对工程系统的辨识,建模者基于先验知识在选择某一模型类时,实际上已经作了重要的假设.例如,选择传递函数作为模型类,就意味假设系统是线性、连续时间和定常的.

对宏观经济系统的非线性性质,都假设它在经济运行的均衡点附近是可以线性化的.而更重要的假设是:理性和一般均衡<sup>[16-17]</sup>.对于这两个假设及它们的前提,是全世界许多经济学家和数学精英们所热衷讨论的非常重要的问题.本文所关注的是从工程控制论的辨识理论的观点来分析:当偏离甚至违反这两假设时,宏观经济数学模型有效性受到的影响.

事实上经济主体的行为并不都是理性的,例如在金融界<sup>[18]</sup>,非理性金融活动是普遍存在的.表现在:投资者对信息处理和认识的不同导致了不同的市场反应,市场规则不完善也会导致非理性投资,从众心理容易导致市场主体集体的非理性<sup>[19]</sup>,个体理性的总和在某些情况下导致了集体非理性的后果等等.特别是在经济危机酝酿时,非理性逐渐占主导地位<sup>[8]</sup>.宏观经济学中理性概念的演变可参阅文[16].

而一般均衡的假设本身还需要一些重要的前提,它们被认为缺乏现实的基础<sup>[8]</sup>.同时,在近代宏观经济学中占有重要地位的、被应用于DSGE模型的“理性预期”假设,一般也被认为是很有问题的<sup>[8]</sup>.

如果非理性占主导地位,则在经济系统内会形成举足轻重的正反馈,它是发生经济泡沫、不稳定(衰退、危机等)从而破坏一般均衡的根本原因.一般均衡的假设如不再成立,则所建经济模型中有的总量关系式就不再成立,模型就失效.至于是否在内、外的小扰动下就会引爆经济危机,这还要由与之相互影响、制约的其他经济部分联合决定.一个真正能反映这种不稳定特性的宏观经济数学模型,在这情况下必须能恰当地反映这一不稳定的正反馈的形成和发展.而这种正反馈是由于内因而形成的.

这种系统内部本身在运行过程中形成或出现不稳定(子系统)的情况并不值得惊讶.以工程系统为例,20世纪60年代作者在西北某大型炼油厂研究常压塔生产时塔顶温度自动调节系统发生小幅周期振荡的原因.塔顶温度(被调量)本已通过塔顶回流油量(调控量)进行自动调节,实现基于自动化仪表的闭环控制.而塔的原油处理量(负荷)是塔顶温度调节系统的主要扰动.

后来发现,塔顶温度发生振荡时常压塔处于原油处理量过负荷状态,塔内发生“液泛”现象造成塔顶温度振荡.这与控制仪表和闭环回路无关.无疑,这时由于塔内机理在运行过程中发生变化,塔顶温度对象的数学模型在过负荷运行情况下发生了变化,演变和出现了振荡环节.这种演变有可能呈现一种非线性的

蝴蝶效应. 对于这样一个被控对象, 在负荷超载时, 塔顶温度的振荡是由于内因——过载, 不是外因引起的.

### 3) 建模数据.

建模数据在图2上是由“实验设计”后产生的“输入输出数据”. 在宏观经济建模中, 就是从官方公报或研究单位如Real-Time Data Research Center的统计数据中收集、整理外生变量和内生变量的运行数据.

L·荣认为:“在系统辨识应用中, 数据质量是最重要的, …”<sup>[13]</sup>. 数据质量归结为可得性、可用性、可靠性. 为了有效地进行建模, 建模所用统计数据必须有足够的时段跨度(2—3个经济周期), 而且必须拥有足够的信息量. 并要求在所采用的数据时段中经济系统的机理不能有大的变动(机理的定义见下文第4小点), 同时每个外生变量要有足够幅度的变动, 从而造成每个内生变量有足够的幅度的变动. 否则参数估计时会出现弱辨识(模型可靠性低), 甚至辨识失败.

而经济系统建模时用来进行参数估计的统计数据, 一般是经济正常运行时的数据, 也即满足理性和一般平衡假设时的经济系统在均衡点附近的演变数据. 这些数据并不是由外加充分激励信号所激发的. 因此, 如何从统计数据中最大限度地提取准确信息, 如何对起伏较大的数据进行合理的使用, 是极重要的问题. 由非持续激励产生的运行数据所建立的宏观经济模型也就决定了其效果的有限性, 并引发可辨识性问题.

### 4) 内在机理和结构的恒定性.

对被建模系统一个重要的要求是: 在所使用的数据的时段(也就是样本时段)内系统的机理是不能变动的. 如果是非线性或时变系统, 其机理仍认为是未变的. 什么是机理? 经济系统的机理是指它的生产、分配和消费演变的基本规则和原理, 例如中国经济从计划经济体系改革为混合经济体系, 这是机理的改变. 因此, 如果经济在偏离正常轨道的运行中背离了宏观经济系统建模的假设——理性和一般均衡, 则系统的机理就发生了变化.

与机理的恒定性要求有关的是, 对宏观经济系统结构的认识. 当系统结构发生严重变化, 系统机理也就跟着变化了. 经济结构是指国民经济的组成要素及这些要素的构成方式; 是国民经济各个要素在特定的关联方式和比例关系下所结成的有机整体<sup>[20]</sup>. 经济结构一旦有重大改变, 此前数据所建模型的有效性也就跟着畸变甚至完全失效了.

经济系统的结构包括多重含义, 例如中国由危机前主要是投资和外贸拉动型经济, 危机后曾转变为唯有依靠两年新增4万亿元的投资计划的内需拉动型经济; 由转变经济增长方式到转变经济发展方式; 以及美国从第一产业为主转变为以第三产业为主等都是结构的变动<sup>[20]</sup>. 后者又被称为结构性转换<sup>[8]</sup>. 经济结

构的变动和内、外在因素的变化有关: 内因如宏观调控方案的不同, 外因如新技术的出现或原料价格因战争而猛涨、重大恐怖袭击等, 都造成宏观经济系统机理的变化. 斯蒂格利茨认为美国宏观经济结构已经发生系统性的变化, 使经济变得更脆弱<sup>[8]</sup>.

经济系统的机理变化和结构变化实际上是一个问题的两个方面: 结构变化是反映在经济要素及其构成方式的变化; 而机理变化是与之相联系的基本规则和原理的变化.

必须指出, 经济系统的结构改变与工程控制论中的变结构自动控制系统有相类似之处. 变结构自动控制系统是指, 系统的控制器由若干不同的控制规律组成, 它们的参数或结构不同, 系统在控制过程中根据某种函数规则在这些规律间切换, 以达到改善系统动态性能的目的<sup>[21]</sup>.

这和宏观经济的监控部门主导进行的宏观调控时, 从一种调控方案变化到另一种不同方案可以类比. 例如美国这次2006年开始的危机发生以后美国国家级控制结构摈弃了新自由主义, 而采取了(“切换到”)历史上最严重的金融救援和干预措施, 来挽救国民经济. 这等于工程系统的改变控制规律, 这当然是经济系统的变结构控制.

另一类相类似之处是, 系统的被控对象本身是结构可变的. 例如, 上文第2)小点提到的炼油厂常压塔在超负荷的情况下塔顶温度发生周期振荡, 这是由于塔内发生液泛, 反映被控对象的结构改变. 这是另一种变结构系统.

这和经济系统虚拟经济部分发生的、占主流的经济人主体的心理因素, 由理性转变为非理性, 使经济系统本身演变并出现一个内部的不稳定内环从而酝酿危机, 在某种意义上可相类比. 虚拟经济部分的重要内环发生不稳, 形成泡沫, 就可能导致虚拟经济部分发生危机.

这样, 从控制论观点分析: 宏观经济系由于机理发生根本性变化会演变成一个变结构同时还是变参数的非线性对象, 甚至会演变成失稳甚至混沌. 所以, 经济系统的失稳是由于内因, 不是外因. 这一点和第2)小点中提到的塔顶温度的振荡是由于内因一样. 这样就从控制论的角度对宏观经济学术界内这个有争议的经济失稳是由于“内因”或“外因”问题<sup>[8]</sup>提出了本文的见解.

这样, 宏观经济系统和塔顶温度系统一样需要2个数学模型: 危机前与危机后. 分界点在危机酝酿或发生的时刻, 危机前理性和一般均衡假设都能保持, 危机开始后则否.

至于中国政府目前实行的“经济结构调整, 加快转变经济发展方式”, 是不是会使经济结构发生影响

机理的严重变化,这需要具体分析了,并且要在建模时进行试探和实证。

机理改变造成统计数据前期和后期内涵的不一致,如何正确和合理地使用统计数据进行建模,就是一个大问题。可以按政治经济情况分段建立宏观经济模型,而某一时期机理的显著改变就反映在模型中函数形式(如消费函数、生产函数等)的改变。文[22]对中国经济的波动研究中,将整个样本时段划分为两段,因为在划分点附近经济结构发生重大结构变化的可能性较大。分成两段后分别进行建模和参数估计,取得较好的研究效果。

工程控制论对于辨识这样一类变结构同时变参数的工程系统,还是一个没有解决的难题。但对变结构的常压塔塔顶温度系统,操作人员增加负荷(提量)的时刻是已知的,所以这实际上是可将模型定义在不同时段上,需要分时段进行辨识。

而复杂的社会经济系统的变结构辨识是一个更待解决的高难问题了。而相同的是变结构的发生时间也是由宏观调控者的调控时刻或机理大变动的时刻决定的。

#### 5) 因果性假设。

工程系统具有明确的因果性,“原因”产生“结果”,输入产生输出。然而,因果性假设在经济现象中有时是有疑问的。由于人的能动因素,会使某些结果出现在原因之前。例如当政府的某项经济政策还未公布实施之前,就可能因人们的预断或猜测而出现物价浮动或股票、汇率的涨跌<sup>[5]</sup>。

因果性假设还表现为任一个动态系统都存在具有Markov性的一组状态变量。但是,构成宏观计量经济模型的一组方程往往包含会计恒等式,决不能断言外生变量就是因或内生变量就是果,实际上往往互为因果。例如这次的宏观调控是源于上次调控后的业绩。即使按系统辨识的方法确定了一组状态变量,这组状态变量也未必具有Markov性。当前的状态和历史的未来可能同时对未来产生影响。这点正是利用现有的控制论方法研究动态宏观经济现象的一个根本困难所在<sup>[5]</sup>。因果性假设不成立,模型本身也就不成立了。

#### 6) 能控性与能观性。

建模的另一假设是,被辨识的工程系统必须是能控与能观的<sup>[12]</sup>。对于已建成的包括控制器在内的状态空间模型,工程控制论有一套判断其能控性与能观性的判据。这个数学模型必须是系统的准确的描述,才能核实此前的假设是否正确。

对于宏观经济系统,情况就比较复杂了。如果不采用状态空间模型,宏观经济建模就不理睬这个“能控能观性”假设。事实上,在宏观经济系统运行在均衡点附近的常态下,这样的假设一般是合理的。如建立

包括调控机构在内的状态空间模型以后,也可以通过上文提到的判据,判断模型的能控性与能观性,以核实此前的假设是否正确。但问题是模型只是近似的,核实的结论也是有条件的。

然而,即使状态空间模型在初期能建立,在经济处于衰退、滞涨或危机时,模型有效性受到畸变,例如2007年开始危机及此后世界经济的复苏动力不足。这表明经济学界和政府调控部门既不能预见到,也不能估计到它规模和程度,更不能阻止它的发生和控制它早日结束。在这种情况下直觉上似乎很难说在这期间能控性与能观性假设是完全合理的。

#### 7) 模型检验及有效性。

模型检验又称模型诊断以检验模型的有效性。在工程系统辨识中,有一套不用统计数据进行模型检验的方法<sup>[12]</sup>。对于宏观计量经济模型和DSGE模型都分别有一套模型检验方法。

模型假设和估计技术以及建模者技巧的差异可能产生不同的模型,要采用一些方法来比较和选择。传统的实证模型有一套比较和选择的方法,关于DSGE模型比较和选择,既有传统的方法,又有目前最有效的贝叶思估计方法<sup>[23]</sup>。

在实证的DSGE模型中对反映模型稳态特性的有关参数,通常采用一个校准方法<sup>[24]</sup>进行修正,这和模型检验不同。此时要注意:一个欠准模型也可以在某一小时内用统计数据校正得好一些。在小范围内适合统计数据的模型可能有几个<sup>[9]</sup>。辨识理论的观点是:经过参数估计后得出的模型参数是最佳的(优化某一准则J的产物),这是就全局(全数据时段)而言。但在局部时段,例如为预测而选定最近的时段,模型参数还可以通过对实际统计数据的拟合而进行校准。这样做的结果,局部的短时段的预测效果会好一些,但这套模型参数在别的时段上就效果欠佳。这种做法被批评为像“曲线拟合”<sup>[8]</sup>。文[25]认为,采用DSGE模型对中国宏观经济波动进行研究时,亟需统一的参数校准标准。

通过过去正常运行的统计数据建成宏观经济模型,并利用另一部分过去数据来验证其有效性。这样的数学模型能在同样机理情况下作出几个季度的短期预测。之所以是短期的,是因为较长的时段中随机外扰(或冲击)会出现,经济监管部门会采取某种新的决策或加大调控措施。这会导致系统的机理多少有些变动,使模型的有效性会大大降低。

但所采用的是过去的正常运行时的统计数据,从辨识理论来说它们并不是经过充分激励宏观经济系统而产生的。此外,描述经济行为的方程式,包括DSGE模型在内,有的都经过线性化,这就更限定模型的有效范围是在选定均衡点附近、在建模数据所描述

的常态的狭窄范围内。

宏观经济数学模型不能用来进行长时段的预测,更不能用来预测危机。因为它的机理变动和较远地离开了原先正常轨迹的附近。有一些论著讨论了基于这类数学模型的经济系统稳定性问题,但这个由模型计算得到的失稳点和现实经济大系统的危机爆发点根本不是一回事。

有人责怪:为什么所建立的宏观经济模型只聚焦于研究不重要的、小的经济变动,而不去注意重要的大范围的经济变动,如周期性泡沫的出现到破灭<sup>[8]</sup>。问题是这种经过线性化的基于理性和一般均衡等假设的模型只能被用在均衡点附近的小范围内才有效。这样就从控制论的角度对宏观经济学术界的上述责难提出了本文的见解。

#### 8) 可辨识性讨论。

工程系统的辨识,是在系统运行的情况下求取被控对象的数学模型。有时运行中的对象不宜开断反馈回路,因此辨识的结果可能把控制器和反馈回路的数学描述都包括进去。这就是闭环系统存在的可辨识性问题。而开环系统的辨识由于输入信号的非持续激励性,致使所得结果与原系统的真实数学描述不符。这是开环系统的可辨识性问题。

所以,无论对于开环系统或闭环系统都可能出现可辨识性问题<sup>[12]</sup>。为避免这问题,“开环系统要求辨识输入必须是 $2n$ 阶持续激励信号,闭环系统要求数据向量元素必须线性不相关的”<sup>[12]</sup>。

系统辨识的“可辨识性”概念被引用在宏观经济模型建模中,无论宏观计量经济模型或DSGE模型,都出现不可辨识的问题。这表现为在利用统计数据进行政策分析时,涉及按所选的准则 $J$ 是否能从模型类中选择一个与数据拟合的最好的模型(见本节开始荣的辨识定义),如果由 $J = \min$ 得出的参数估计值不是惟一的,因而所得出的模型不一定与真实系统等价。这表明系统是不可辨识的。这现象与输入统计数据的非持续激励性有关。例如文[26]报道在宏观经济DSGE模型建模中,其似然函数可能包括许多局部极大值、局部极小值或呈平面型,这使基于极大似然估计的参数估计法,不能提供正确的模型参数。

另一种情况称为弱辨识:在多方程组宏观经济模型辨识中可能普遍发生,例如,在DSGE模型建模中,辨识困难导致标准的渐近估计步骤的失败,使对参数估计的推理变得不可靠。这问题还在货币经济学中的前瞻性模型(forward-looking model),采用广义矩估计法辨识时也会出现。文[27]对于广义矩估计法出现弱辨识作了综述,并提出一些有用的处理方法。

其他不可辨识区域、局部辨识(local identification)<sup>[28]</sup>和弱可辨识性<sup>[29]</sup>等这些问题,几乎不时出现在宏观经济系统建模文献中,成为躲不开的问题。

为此要选择适宜的参数估计方法。

## 2.1 本节小结(Summary)

1) L·荣指出:辨识技术“应用成功的关键是获得可靠的数据和对所使用的模型结构特征有良好的了解”<sup>[13]</sup>。纵观以上基于系统辨识理论的对比、审视、剖析和评估,宏观经济系统的建模,由于数据并非由充分激励产生以及政策变动或者偏离理性和一般均衡假设,引起系统内在结构特征和机理的变动,加上在经济现象中有时偏离因果性假设以及统计数据的信噪比非常低,使得这类固定结构的模型其有效性受到限制甚至在非常态情况下失效。

这就从工程控制论中的系统辨识的角度对于,为什么对危机发生形式、发生时间及危害程度,不能利用危机前的宏观经济数学模型进行准确的预测的责难(参见第1节引言)提出本文的见解。

2) 卢卡斯批判因其提出者而得名。卢卡斯提出<sup>[30]</sup>,根据历史数据建立的宏观模型在预测某些要素的变化时可能会无效。卢卡斯的主要思想是,宏观政策制订用的一些大规模的计量经济模型往往因为政策的改变而需要改变,否则在此基础上的政策建议往往是无效的<sup>[30]</sup>。卢卡斯批判要求建模者从微观基础入手建立模型,即从个体的偏好、技术和资源的限制等入手,在此基础上研究个体对政策变化的反应并对个体进行加总来考察总体上的反应<sup>[30]</sup>。

从工程控制论来理解,政府宏观调控政策属性的改变,就相当于在变结构控制系统中的控制器控制规律的改变。这引起经济结构和机理的改变,因而模型也须改变。在前模型基础上的对调控政策改变后的宏观经济预测的结论是无效的。这也印证了受控经济系统的变结构特性。

3) 现代市场经济虽然仍以单个微观经济主体为基本单位,经济活动已不再是单纯的个体行为。为列出宏观经济以集结的总量作为变量间的方程等式,如何处置微观基础是个大问题。卢卡斯的要求建模者从微观基础入手建立模型,这个意见实质上就是要求对系统机理进行更深入的研究。不仅是要看到宏观统计数据,也要研究其微观基础。正是许多个体的偏好等行为汇集成总加的宏观现象。

DSGE模型常常假设给定类型的所有微观经济体都是同质的(即有“代表性家庭”和“代表性主体”),可以执行完美的计算,正确预测未来(被称为理性预期)。后来也发展到是异质的,但加总方法非常复杂<sup>[25]</sup>。

4) 经济学家们对建模所凭借的理论和技术的做过许多修改、更新、补充。例如,在宏观计量经济模型中引入虚拟变量,以表示结构变动的的影响。但文[31]指出,虚拟变量使用得太多所构建的模型,拟合精度越高,预测精度也就越差。DSGE模型的改进方向和发展方向可参见文[23]。



这些改进能使模型在均衡点附近的短期预测进一步提高精度. 然而, 如果理性和一般均衡的重要假设被违反, 对于预测危机的发生和规模以及寻求所需宏观调控措施模型不会有什么效果.

5) 目前有不少经济专家都看好基于人工适应主体、可计算的宏观经济模型<sup>[32-34]</sup>. 由美国圣菲研究所(Santa Fe Institute)研制的该类美国宏观经济模型 ASPEN 获得了成功<sup>[35]</sup>. 这项研究基于由控制论所衍生的复杂性研究法. 在此成功基础上欧盟支持的 EU-FP6 计划集中了多国的力量, 企图为欧盟经济建立了一个雄心勃勃的、基于人工主体的巨型经济模型 EURACE, 以便理解欧盟的金融市场和整个经济, 并为未来的政策制订找到依据. 由于国内对这方面报道很少, 所以本文这将在下节作简略的介绍.

### 3 基于主体的、欧盟巨型并联经济模型 EURACE(A massively parallel agent-based model of the European economy EURACE)

#### 3.1 EURACE 经济模型概述(Brief view of EURACE)

基于人工主体的巨型经济模型 EURACE, 还处在早期研究阶段, 最近已经取得一些突出的进展<sup>[35-36]</sup>. 这是采用控制论历来创导的黑箱建模所发展而来的仿真研究法, 只不过是基于电子计算机的大型并行仿真.

EURACE 模型是一个基于主体的、整体集成的、极巨大及复杂的宏观经济模型和仿真器, 包括3个部

分: 实体部分(消费品市场、消费品投资市场和劳动力市场)、金融部分(信贷市场和金融市场)以及管理部分(政府和中央银行). 中央政府和中央银行主体遵循简单的、预定的决策规则, 从而使经济行为在可供选择的政策制度下进行比较分析. 最后, 还有一些机构主体其主要功能是收集和发布信息, 计算集成的指数和经济指标, 并传递给那些请求信息的主体. 这样, 把经济看成由自主、相互作用的主体组成的演化系统. 主体应具有自治性、通信感知能力、优化能力、目标驱动能力、推理和规划能力、协作协商能力、学习和适应能力. 每个主体是二阶控制论所称的既是观察者又是动作者.

为建模需要, 用于运行仿真的系统主体群遵循物理模拟原理, 按照下列实况: 1) 在欧盟经济体系中的各地理区域; 2) 各区域主体群的组成, 即含有不同数量的各种主体的类型及数量; 3) 主体的状态(如资产)和关系(如就业关系), 它们作为仿真前初始化系统状态的随机事件.

基于真实的统计数据, 该 EURACE 模型代表几千万的住户、十万商号和成百座银行. 商号与银行交往以获得贷款, 而银行间也以不同利率相互竞争<sup>[34]</sup>.

模型研制者首先分析和列出各个主体间的详尽相互依存关系. 图2只是一例, 表示消费品生产者和消费者在商品市场上的相互作用. 依据众多的此类关系图可以确定各个主体的、基于有限自动机<sup>[37]</sup>描述的 X-机(X-machine)(见下文)的内部函数  $f$ , 后者用来规范主体的行为规则.

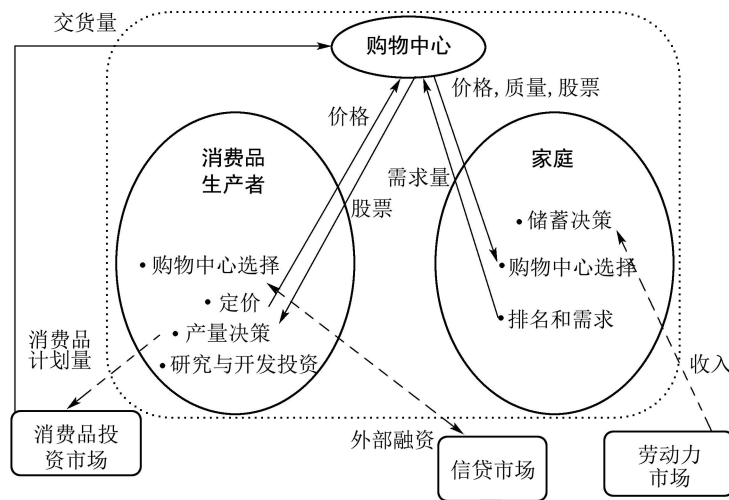


图2 消费品生产者和消费者在商品市场上的相互作用<sup>[36]</sup>

Fig. 2 Interactions between the consumption goods producers and the consumers on the goods market<sup>[36]</sup>

#### 3.2 巨型主体建模的柔性环境, 简称 FLAME (Flexible large-scale agent modeling environment, FLAME)

文<sup>[36]</sup>给出了基于有限自动机的、大型主体建

模柔性环境 FLAME, 被用来在大量的并行超级计算机上仿真巨量的主体和其运行的模型.

在 FLAME 环境下构建描述主体的 X-机, 并指定一个通信结构使各主体间可互相交换信息. 主体间

活动的所有相互依存关系,通过信息运行来实现,即两个独立的主体内部功能之间没有直接的联系。

简单的X-机定义在图3上,它具有内部记忆变量id及位置变量 $(x, y)$ (图上标为xpos, ypos). X-机带有2个内部作用相互依赖的函数f1及f2,需要输入信息msg1作为f1的输入. X-机可以递送信息msg2以与它当前位置 $(x, y)$ 沟通。

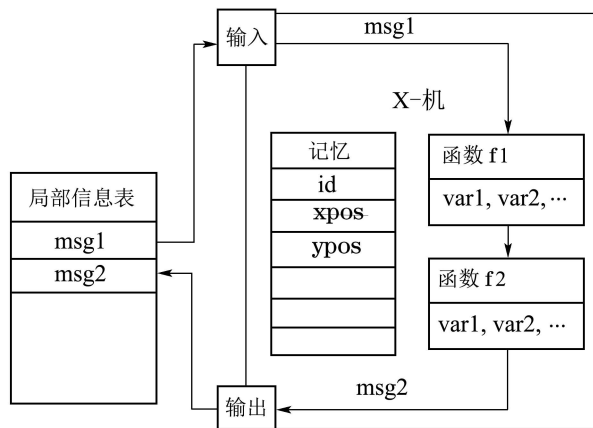


图3 X-机的定义图例<sup>[36]</sup>

Fig. 3 Example definition of X-machine<sup>[36]</sup>

犹如有限自动机, X-机包括一个有限状态集 $S$ , 转移函数 $F$ , 以及用来为系统读、写信息的语言 $X$ . 然而, X-机也有一个影响机器运行的内存, 其内部功能是将其他机器发送过来的变量和信息作为输入存入内存. 其外部功能是将内存变量的修正值和/或输出信息连接至其他X-机。

X-支机(stream X-machine)是X-机的一个方案, 本文给出的它的计算部分. X-支机的定义是一个6重的支机:  $X = (M, m_0, \Sigma, \Gamma, F, \omega)$ , 它包括:  $M$ 是有限记忆状态集;  $m_0$ 是启动状态(又称初始状态), 它是 $M$ 的一个元素;  $\Sigma$ 是符号的有限集, 称为输入字母; 状态转移函数 $F: M \times \Sigma \rightarrow M$ ; 输出函数 $\omega: M \times \Sigma \rightarrow \Gamma$ . 上文函数 $f$ 是 $F$ 的元素,  $\Gamma$ 是输出字母符号的有限集. X-支机形成非常一般的计算框架, 例如以规定的语言执行函数的计算。

信息交换在可以并行的超级计算机上进行, 它由一些各别计算机(所谓的计算节点)组成, 并由一条高速通信网络将这些计算机连接起来. 运行费用很为昂贵。

每个主体被假定活动在一些定义的文本(背景)中, 并按每个文本的规定起相应的作用. 市场主体则采用略不同的X-机, 称为“经济X-主体”, 其应用的细则类如其他主体, 可以活跃在市场上, 主体遵循的行为规则可从X-机的内部函数 $f$ 获得<sup>[36]</sup>。

从欧盟的地理信息系统(GIS)和欧盟统计局

(Eurostat)所获得统计数据, 使模型中的厂商、家庭(住户)、购物中心以及其他经济主体在欧盟领土内大体上如实地分布. 以一个分离而高度集结的实体替代欧盟以外的世界其余部分, 它对模型提供重要的(半)外生变量, 如能源价格。

一个主体可以活跃在几个市场上. 例如家庭(住户)可以在劳动力市场上充当雇员, 又是消费品投资市场上的消费者, 又是信贷市场的借款人, 更是金融市场的股票投资者和国家债券的购入者. 因此, 将市场视为主体活动的文本, 在不同市场上主体扮演不同的角色, 见图2。

EURACE经济模型是基于事件导向: 各主体的活动只依赖于它已收到的信息和它内存持有的消息, 并以有限理性、适应行为以及在分散化的市场中的成对关联为其特征. 与过去运行的计量经济模型和DSGE模型不同, EURACE经济模型强调运用细粒度的微观数据, 例如有关各房产主抉择的信息. EURACE的运行涌现出宏观经济系统内在的经济周期等定性的突变现象. 这是现阶段研究的主要目的, 而不是对经济在正常运行的常态时段进行政策分析或预测。

### 3.3 简化的劳动力市场的仿真成果(Simulation results for simplified labor market)

文[36]给出EURACE经济模型简化的劳动力市场这一块研究的仿真成果. 虽是简化模型, 但给出逼真的成果. 它表明, 尽管(外因)增加资本生产率相当平滑地变化, 在不可预测的时间, 突然跃变就可能发生. 简化的劳动力市场的整体模型给出在文[35]。

虽然, 迄今EURACE只能提供定性和概念性的结果. 但类似的小一些的模型的研究成果表明, 它们可以校正得与数据拟合得很好<sup>[38]</sup>. 文[38]还得出有关华盛顿特区房地产的繁荣和萧条原因的新结论. 因此, 基于主体的模型(ABM)作为计量经济和政策分析的工具也是具有潜力的。

### 3.4 巨型基于主体的欧盟经济模型EURACE的创新点(Innovations of the massive agent-based model of European economy EURACE)

文[33]小结EURACE的创新点为: 1) 网络化. 整个宏观经济模型是由一组重叠、强关联的网络组成的一个复杂的演化网络, 包括产品网络、商号网络、交易网络、信贷网络等; 2) 引进市场生态学. 主体按不同类型的行为划分若干组, 研究其在金融不稳定中的变化, 以提供预警信息; 3) 研究复杂的经济和金融市场在不满足一般均衡假设时的表现; 4) 主体的预期与学习. 各别主体的预期可能是



负(正)的,导致采取负(正)反馈行动.主体依据他人的行为改变自己直接行为的结果——社会学习. EURACE对主体根据不同类型的社会学习的行为规律进行广泛研究; 5) 能提供创新的政策和市场调控决策. 如财务贡献水平的决策; 6) 能拟合和适应宏观和微观统计数据. 不论实体经济的随机过程是否平稳, 或是否一定收敛到均衡点, 都能设法拟合和适应.

#### 4 结语: 探索能预测经济危机的宏观经济建模研究趋势 (Concluding remarks: Trend of macroeconomic modeling study for predicting the next economic crisis)

如第2.1节小结所述, 现用的宏观经济模型效果明显具有局限性, 虽然, 它们也在努力改进. 根据第2节的审视结果, 作者对它们经过修补能否预测另一次危机持悲观的态度.

面对未来可能出现的危机, 宏观经济建模的创新研究需要有新的思路. 如何建立一个能预测危机的宏观经济模型, 正是经济学家、经济控制论学者和数学家面前呈现的严重挑战. 而也需要社会科学家、心理学家、工程师以及计算机等专家共同跨学科地参与.

中国控制学科的创始人之一张钟俊20多年前就很精辟地指出“要努力把控制论的思想和原理与经济学的思想和原理创造性地结合起来”, “不仅要包括传统的定理分析技术, 还要注重发展定量与定性相结合的分析技术和方法”<sup>[39]</sup>. 基于人工适应主体、可计算的宏观经济(ACE)模型采用的正是定性地涌现危机等现象的定性研究法. 据此, 本文强调今后的建模研发方向:

##### 1) DSGE和ACE模型的结合.

为了进一步趋近经济系统的实际的机理, 文[40]提出DSGE和ACE模型的结合来建模. 这样, 既可以DSGE数学模型的强大的解释和政策建议能力, 具有更充分的个体基础, 又有可能准确地预见系统的危机. 这可以说是定量和定性研究结合的一种方法. 但如何结合并这种结合到底能走多远, 尚需要实践来验证.

##### 2) 对宏观经济学必须进行反思.

既然模型的数学表达式是根据宏观经济学的理论列出的, 所以未能建立能预测危机、处理危机的宏观经济数学模型, 就首先要对作为辨识先验知识的宏观经济学进行反思: 哪些地方失败了? 如何改进它, 包括作为重要假设的理性和一般均衡理论以及理性预期?

文[8]在其结论中提出: 要在不完全的信息、不充分的风险市场, 而且市场经济不必要是有效的或稳定的假设下创立“新宏观经济学”. “需要将风险分析、信息和机构设置结合在一个不平衡、全球化和结构变化的框架中, 采用的假设具有更大的敏感性(包括数学的假设), 并要能有效地承担要证明的任务(例如, 对分散风险的好处, 再分配的影响). 经济主体问题和宏观经济外部性将占中心的位置”.

文[41]提出: 创立“不完善的知识经济学(imperfect knowledge economics, IKE)”, 通过确认经济学家知识的不完善, 抛弃传统模型的前提和核心——习用的“理性期望”假设等, 在定性的或偶然性规律框架中, 以一种与市场参与者理性兼容的方式来考虑心理因素, 藉此改造宏观经济数学模型<sup>[10]</sup>. IKE正在探索可能提供的前沿性成果.

二阶经济学(second-order economics)则是美国二阶控制论学者S·翁玻尔贝(Umpleby)提出的. 他认为, 社会科学家们要改变思维, 创立把观察者融入经济系统的“二阶经济学”, “允许所有参与者(行动者)成为观察者, 而观察者成为参与者(行动者)”<sup>[42]</sup>. 藉此建立的新型经济模型.

##### 3) 研究宏观经济的变结构模型.

为了体现宏观经济机理并结构的改变, 宏观经济模型的结构应该随实体的结构改变而改变<sup>[10]</sup>. 国内张世英教授在20世纪80年代研究计量经济模型时, 很早就考虑到这个重要的变结构问题. 并强调应建立变结构的经济模型的分时段建模方法<sup>[43]</sup>. 文[44]是他就国内外对多种模型的变结构建模与经济系统的变结构问题的研究情况和成果所作的重要综述. 他认为, 在计量经济模型中, “模型结构指模型的函数形式, 模型设置的变量及取值范围, 模型参数取值范围以及模型中随机变量的分布特征”.

经济系统机理既会有较大变动, 就不能有统一的建模假设. 应该分时段建立假设、分时段确定变量间的关系, 再分段模型化. 这是重要的思想. 上文第2节第4)小点曾提出危机前和危机后的分段宏观经济模型. 企图用发生危机前的模型来制定发生危机后的宏观调控政策, 显然是徒劳的.

针对经济系统的变结构特性, 如何进行以变结构模型建模, 包括对计量经济模型和DSGE模型? 这对经济控制论、系统辨识和经济模型的研究者是一个必须突破的重大挑战.

##### 4) 大(巨)型ACE模型的研发.

上文第2.1节第5)小点提到, 不少经济专家就看

好ACE模型。ACE模型的动态包含突然和剧烈的状态变化。因此它强调适用于分析危机,而不是研究均衡点附近的常态<sup>[34]</sup>。并它有可能为政策制订和处理危机者提供挑战和机遇。然而,应该强调:只有采用足够巨大数量的主体来模拟非常复杂的经济系统情况下,系统内部的许多深层次现象才能定性地涌现出来。

目前,人们正拭目以待宏观经济学理论、宏观经济系统变结构建模以及EURACE研制的新进展。

**致谢** 作者衷心感谢上海交通大学王浣尘、张鹏翥教授,他们的修改意见使本文在叙述的严密性、逻辑性、条理性及可读性上增色不少。

### 参考文献(References):

- [1] TAYLOR J B. *Getting off Track: How Government Actions and Interventions Caused, Prolonged and Worsened the Financial Crisis* [M]. CA, USA: Hoover Institution Press, 2009.
- [2] 万百五. 经济控制论观点下的全球经济危机及其教训——纪念控制论创始人诺伯特·维纳诞生120周年(1894—2014) [J]. 控制理论与应用, 2014, 31(2): 129—139.  
(WAN Baiwu. The global economic crisis and lessons drawn in the viewpoint of economic Cybernetics—To commemorate the 120 anniversary of the birth of the founder of Cybernetics Norbert Wiener (1894—2014) [J]. *Control Theory & Applications*, 2014, 31(2): 129—139.)
- [3] 张钟俊, 候先荣. 现代控制理论在宏观经济学中的应用 [M] // 系统工程论文集. 北京: 科学出版社, 1981: 72—76.  
(ZHANG Zhongjun, HOU Xianrong. Application of modern control theory to macro-economics [M] // *Paper in Compilation on the Systems Engineering*. Beijing: Science Press, 1981: 72—76.)
- [4] From Wikipedia. Macroeconomic\_model [EB/OL]. <https://en.wikipedia.org/wiki/model>. 16 May 2013.
- [5] 万百五, 韩崇昭. 控制理论与宏观经济模型 [J]. 自动化学报, 1986, 12(2): 210—218.  
(WAN Baiwu, HAN Chongzhao. Control theory and macroeconomic models [J/OL]. *Acta Automatica*, 1986, 12(2): 210—218.)
- [6] (Unsigned). New model army: Efforts are under way to improve macroeconomic models [J/OL]. *The Economist*, Print edition, 2013—1—17.
- [7] SCHNEIDER F, KIRCHGÄSSNER G. Financial and world economic crisis: What did economists contribute? [J]. *Public Choice*, 2009, 140: 319—327.
- [8] STIGLITZ J E. Rethinking macroeconomics: What failed, and how to repair it [J]. *Journal of European Economic Association*, 2011, 9(4): 591—645.
- [9] FREEDMAN D H. Why economic models are always wrong [EB/OL]. *Scientific American*. October 26, 2011. (Technology >> Web Exclusives). <http://www.scientificamerican.com/article/finance-why-economic-models-are-always-wrong/>.
- [10] FRYDMAN R, GOLDBERG M D. Change and expectations in macroeconomic models: Recognizing the limits to knowability [J]. *Journal of Economic Methodology*, 2013, 20(2): 118—138.
- [11] MEHRA R K. Identification in control and econometrics: Similarities and differences [J]. *Annals of Economic and Social Measurement*, 1974, 3(1): 21—47.
- [12] 萧德云. 系统辨识理论及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.  
(XIAO Deyun. *Theory of System Identification with Applications* [M]. Beijing: Qinghua University Press, 2014.)
- [13] LJUNG L. *System Identification: Theory for the User*, 2nd Ed. [M]. Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice Hall PTR, 1999.  
(L·荣. 系统辨识——使用者的理论 [M]. 袁震东, 阮荣耀, 陈树中, 根据1987年第1版译出. 上海: 华东师大出版社, 1990.)
- [14] From Wikipedia, the free encyclopedia. Keynesian economics [EB/OL]. [en.wikipedia.org/wiki/Keynesian\\_economics](http://en.wikipedia.org/wiki/Keynesian_economics). 12 February 2013.
- [15] READ C. *Global Financial Meltdown—How We Can Avoid the Next Economic Crisis* [M]. Basingstoke, USA: Palgrave Macmillan, 2008.  
(科林·里德. 金融危机经济学: 如何避免下一次经济危机 [M]. 曹占涛, 柏艺益, 王大中, 译. 北京: 东方出版社, 2009.)
- [16] 徐家根. 经济学中理性概念及其演变 [J]. 学术月刊, 2005, (9): 35—42.  
(XU Jiagen. The concept of rationality in economics and its evolution [J]. *Academic Monthly*, 2005, (9): 35—42.)
- [17] From Wikipedia, the free encyclopedia. General equilibrium theory [EB/OL]. [en.wikipedia.org/wiki/General\\_equilibrium\\_theory](http://en.wikipedia.org/wiki/General_equilibrium_theory). 9 Feb. 2013.
- [18] 杜玉静. 非理性金融活动与金融危机的内在联系探析 [J]. 时代金融, 2013, 5下旬刊(总第517期): 180—186.  
(DU Yujing. Analysis of the inner link between the non rational financial activities and financial crisis [J]. *Times Finance*, Last third of May, 2013, (Cumulatively No.517): 180—186.)
- [19] UMPLEBY S A. Fundamentals and history of Cybernetics, part 4 [C/OL] // *A tutorial presented at the World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics, and Informatics*. Orlando, Florida, 2006. [www.gwu.edu/umpleby](http://www.gwu.edu/umpleby).
- [20] 百度百科. 经济结构 [EB/OL]. [baike.baidu.com/2014-01-10](http://baike.baidu.com/2014-01-10).  
(Baidu Encyclopedia. Economic structure [EB/OL]. [baike.baidu.com/2014-01-10](http://baike.baidu.com/2014-01-10).)
- [21] 冯纯伯, 费树岷. 非线性控制系统分析与设计 [M]. 第2版. 北京: 电子工业出版社, 1998.  
(FENG Chunbo, FEI Shumin. *Analysis and Design of Nonlinear Control Systems* [M] (2nd Ed.). Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1998.)
- [22] 徐高. 基于动态随机一般均衡模型的中国经济波动数量分析 [D]. 北京: 北京大学, 2008.  
(XU Gao. Quantitative analysis on China's business fluctuations based on dynamic stochastic general equilibrium models [D]. Beijing: Beijing University, 2008.)
- [23] 刘斌. 动态随机一般均衡模型及其应用(第二版)[M]. 北京: 中国金融出版社, 2014.  
(LIU Bin. *Dynamic Stochastic General Equilibrium Model and its Applications* (2nd Ed) [M]. Beijing: China Financial Publishing House, 2014.)
- [24] 陈旭昇, 汤茹茵. 动态随机一般均衡(DSGE)模型在货币政策制定上的应用: 一个带有批判性的回顾与展望 [J]. 经济论文丛刊, 2012, 40(3): 289—323.  
(CHEN Shiusheng, TANG Juyin. DSGE models and policy making: A critical review [J]. *Taiwan Economic Review*, 2012, 40(3): 289—323.)
- [25] 詹新宇. 动态随机一般均衡模型在中国的应用研究进展及述评[J]. 西部大开发(中旬刊), 2012, (4): 12—14.  
(ZHAN Xinyu. Progress and review of application study of Dynamic stochastic general equilibrium model in China [J]. *West China Development* (Mid Monthly), 2012, (4): 12—14.)
- [26] ČÍŽEK O. Identifiability issue in macroeconomic modeling [C] // *Proceedings of the 30th International Conference Mathematical Methods in Economics, Karviná, Czech Republic, 11—13 September 2012: 101—106*. Karviná: Silesian University in Opava, School of Business Administration in Karviná, 2012: 101—106.

- [27] STOCK J H, WRIGHT J H, YOGO M. A survey of weak instruments and weak identification in generalized method of moments [J]. *Journal of Business & Economic Statistics*, 2002, 20(4): 518 – 528.
- [28] ISKREV N. Local identification in DSGE models [J]. *Journal of Monetary Economics*, 2010, 57(2): 189 – 202.
- [29] MAVROEIDIS S. Weak identification of forward-looking models in monetary economics [J]. *Oxford Bulletin of Economics & Statistics*, 2004, 66(S1): 609 – 635.
- [30] LUCAS R E. Econometric policy evaluation: a critique [M]//BRUNER K, MELTZER A H, Eds. *The Phillips Curve and Labor Markets*. Amsterdam, North Holland: [s.n.], 1976: 19 – 46.
- [31] 谢方. 关于正确使用虚拟变量的探讨 [J]. 数量经济技术经济研究, 1998, (11): 47.  
(XIE Fang. Discussion on the proper use of dummy variables [J]. *The Journal of quantitative and technical Economics*, 1998, (11): 47.)
- [32] TESFATSION L. Agent-based computational economics: Modelling economics as complex adaptive systems [J]. *Information Sciences*, 2003, 1490(4): 263 – 269.
- [33] FARMER J D, GALLEGATI M, HOMMES C, et al. A complex systems approach to constructing better models for managing financial markets and the economy [J]. *The European Physical Journal (Special Topics)*, 2012, 214 (1): 295 – 324.
- [34] BUCHANAN M. Economics: meltdown modeling: could agent-based computer models prevent another financial crisis [J]. *Nature*, 2009, (460): 680 – 682.
- [35] DAWID H, GEMKOW S, HARTING P, et al. Skills, innovation, and growth: an agent-based policy analysis [J]. *Journal of Economics and Statistics*, 2008, 228(2/3): 251 – 275.
- [36] DEISSENBERG C, VAN DER HOOG S, DAWID H. EURACE: A massively parallel agent-based model of the European economy [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2008, 204(2): 541 – 552.
- [37] From Wikipedia. Finite-state machine [EB/OL]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Finite\\_state\\_automaton](http://en.wikipedia.org/wiki/Finite_state_automaton), 2014 – 10-07.
- [38] GEANAKOPOLOS J, AXTELL R, FARMER D, et al. Getting at systemic risk via an agent-based model of the housing market [J]. *American Economic Review*, 2012, 102(3): 53 – 58.
- [39] 张钟俊. 经济控制论的发展、回顾与展望 [J]. 上海交通大学学报, 1992, 26(5): 1 – 2.  
(ZHANG Zhongjun. The development of economic Cybernetics: Retrospect and prospect [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 1992, 26(5): 1 – 2.)
- [40] 李迁, 陈荣虎. 动态随机一般均衡模型微观基础分析及其改进 [J]. 南京社会科学, 2013, (2): 30 – 34.  
(LI Qian, CHEN Ronghu. Micro foundation analysis and improvement of dynamic stochastic general equilibrium model [J]. *Nanjing Social Science*, 2013, (2): 30 – 34.)
- [41] FRYDMAN R, GOLDBERG M D. *Imperfect Knowledge Economics: Exchange Rates and Risk* [M]. Princeton and Oxford: Princeton University Press, 2007.  
(罗曼·弗雷德曼, 迈克尔·D·戈德堡. 不完善的知识经济学: 汇率和风险 [M]. 陈冰, 韩林芝, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2012.)
- [42] UMPLEBY S. Second-order economics as an example of second-order Cybernetics [J]. *Cybernetics & Human Knowing*, 2011, 18(3/4): 173 – 176.
- [43] 刘豹, 张世英, 黄违洪. 变结构经济计量模型的建模问题 [J]. 数量经济技术经济研究, 1986, (2): 41 – 44.  
(LIU Bao, ZHANG Shiyong, HUANG Weihong. Modeling for variable-structure econometric model [J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 1986, (2): 41 – 44.)
- [44] 张世英. 变结构建模与系统的变结构问题 [J]. 统计与决策, 2007, (10): 11 – 14.  
(ZHANG Shiyong. Problem of variable-structure modeling and the variable-structure system [J]. *Statistics and Decision*, 2007, (10): 11 – 14.)

#### 作者简介:

万百五 (1928–), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为大系统递阶稳态优化控制、智能控制和工业产品质量控制以及控制论. E-mail: wanbw@mail.xjtu.edu.cn.