

控制理论与宏观经济模型

万百五 韩崇昭

(西安交通大学系统工程研究所)

摘 要

本文从控制理论和系统工程的角度,简单综述了宏观经济数学模型的历史与当前发展的状况;分析了宏观经济数学模型区别于物理或工程系统模型的重要特征及模型在经济预测、决策评价和结构分析上的实用性;根据控制理论在经济学中应用的发展趋势,探讨了宏观经济数学模型未来发展的方向。

一、宏观经济数学模型的发展和类型

一切宏观经济数学模型都是某种经济理论与数学方法相结合的产物,用以描述对象各主要参量间的数量关系,从而达到分析、预测、评价或决策的目的。西方国家的宏观经济数学模型均以现代的西方经济理论(如 Leon Walras 的“一般均衡理论”^[1],尤其是 J. M. Keynes 的一整套理论^[2,3])为依据,运用系统辨识和参数估计等方法获得的。

宏观经济数学模型的研究最初以美国为中心,后来逐渐扩展到其它西方国家以至整个世界。因为制定宏观经济数学模型的目的各不相同,所以模型的种类也异常繁多。

世界上第一个宏观经济模型是美国的 1919—1932 年的商业周期模型,该模型由计量经济学的奠基人之一、荷兰经济学家 J. Tinbergen 于 1939 年制定。然而,真正有实用价值的是美国的经济学家 L. R. Klein 于 1950 年制定的两次世界大战期间(1921—1941)美国经济的动态模型,称之为 Klein 战间(Interwar)模型,曾用于经济预测和政策评价。该模型对战后的经济预测虽不成功^[4],但可以视为现代宏观计量经济动态模型的雏形。根据 Klein 的思想,所谓计量经济模型,是指根据经济理论假定模型的结构,利用数学表达式描述,并借助于实际经济的观察数据,利用统计学方法估计模型的参数而得到的模型,模型表示成线性或非线性随机差分方程的形式。

另一个有重要影响的宏观经济模型是“投入-产出”模型^[6,8-10],它是俄裔美国经济学家 W. Leontief 以 L. Walras 的一般均衡理论为依据,于三十年代提出的。模型能反映国民经济各部门、各种产品之间的技术经济联系,是进行经济数量分析、搞好综合平衡的一种重要工具。目前已成为世界大多数国家(包括我国)制定国民经济计划的重要手段之一。以后 Leontief 又研究了动态投入-产出模型,计入下一个周期需要扩大的生产能力^[5]。在这个动态模型的基础上,许多学者又针对特殊的假设条件对宏观经济进行了优化研究^[5,9]。

为了克服投入-产出模型的一些局限性，“可计算的一般均衡模型”^[7] (CGE 模型)被提出来了。模型是将投入产出分析与线性规划的最优供给量求解相结合，解出既考虑生产者又考虑消费者的最优经济效果的最优计划及一组均衡价格。CGE 模型如果去掉完全竞争的假定，可以用于高度集中的计划经济。

六十年代末至七十年代初，宏观计量经济模型发展到大规模季度计量经济模型：比较有代表性的模型是美国 MIT (麻省理工学院)、Pennsylvania 大学和社会科学联合会联合制定的 MPS 模型(或称 FMP 或 FRB-MIT 模型)^[4]。该模型包括六个主块(最终需求、收入分配、税收和汇兑、劳动市场、物价、财政)，具有很高的非线性特征。

七十年代以来，在宏观经济数学模型的发展中有两项重要的工作在进行。一项是以 Leontief 为首的一批经济学家为联合国编制世界投入产出模型^[11]；另一项是以 Klein 为首的一批经济学家在编制世界各国的对外贸易模型联合起来的 Link 系统模型^[11]。

二、宏观经济数学模型的特点和用途

当自动控制和系统工程学者着手研究经济问题时，首先遇到的困难是宏观经济对象与一般物理或工程对象有显著差别，完全借用自然科学或工程上的方法研究经济问题是不实际的。关于这一点，文献 [12] 曾给出精辟的论述。

1. 宏观经济对象的重要特点

1) 结构的复杂性

在任何具有生产、分配、交换和消费职能的社会经济组织中，几乎所有的成员既是生产者又是消费者。原则上说，每个成员的任一经济行为都可能对整个组织系统的经济运行产生影响。在这样的组织中，一般存在层叠交错的组织机构，各机构的决策者的行为对于经济运行具有举足轻重的作用。不同的组织机构形式和与之相应的生产、分配和交换方式等可以产生完全不同的经济效果。

一般情况下，所研究的经济组织(如国家)多隶属于某个更大的组织(世界)，同时与其它经济组织(国家、地区)间存在着贸易、经济合作、联合经营等错综复杂的联系。面对这种具有复杂结构的系统，目前已有的宏观经济模型只是对某些经济变量间依存和制约关系的近似描述，是复杂经济实体的一种带主观性的映象。

2) 经济理论的局限性和模糊性

经济科学属于社会科学的范畴，对同一经济现象，不同的人观察，由不同的理论、观点，得到不同的结论。应用这些经济理论及在它们的基础上获得的数学模型不可避免地存在着局限性。例如，完全自由竞争的市场经济理论与模型与中央计划经济的理论与模型就不可能完全相同。

在同一经济理论体系中，因为对象结构上的复杂性和人们认识上的局限性，对于经济现象不可能象物理现象那样用相对严格的定律来描述。并且用以描述宏观经济现象的定量关系式往往随研究者的经济理论和目的的不同而不同，其严格性常常受到怀疑。

最使自动控制和系统工程学者感到困惑的是，“因果性”假设在经济现象中有时是有疑问的。由于能动的人的因素的存在，在经济现象中，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。

在系统科学理论中,因果性假设还表现为任一动态系统都存在具有 Markov 性的一组状态变量。但是,构成宏观计量模型的一组方程往往包含会计恒等式^[2,4]。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。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状态可能同时对未来产生影响。这一点正是利用现有的系统论和控制论方法研究动态宏观经济现象的一个根本困难所在。

3) 信息的不完全性

对于经济系统,因为存在着大量的未知因素,而统计数据的信噪比非常低,所以,按照通常施加试验信号的方法求取系统响应是不可能的。只能依靠定期(年度或季度)的统计数据来构造模型,但有效样本值往往又十分有限。即使利用最好的系统辨识和参数估计方法也很难获得比较精确的模型。

经济系统由于存在非常高的噪声水平,同时考虑到模型的不精确和状态本身可能具有的非 Markov 性,使之成为极端不完全状态信息系统。对这样的系统按外推法进行状态预报难免会有很大的误差。

2. 宏观经济模型的用途

由于宏观经济对象的特殊性,利用现有的模型和方法研究宏观经济现象,进行经济决策仍有许多尚未克服的困难。但世界各国愈来愈重视宏观经济数学模型的应用,并且取得了明显的效果。宏观经济模型的用途,主要体现在四个方面^[4]: 1) 结构分析。结构分析就是用模型定量测定系统变量间的结构关系,估计系统的某些系数和系数的组合,以理解和解释有关的经济现象,并可用以检验几种针锋相对的经济理论。2) 预测。即用模型预估某些不能直接观察的变量的值,分为短期、中期和长期预测三种。3) 政策评价。即利用模型选择一种较好或最优的政策。可分为短期、中期和长期三种。并有辅助目标法、社会福利函数法和仿真三种研究方法。政策评价与预测是紧密相连的。预测必须部分地基于对决策者未来行动的假设,而政策评价又必须部分地基于对各种政策选择的效果的预测。4) 经济计划。即利用模型制定国民经济计划,从而达到各部门间产品、物资的综合平衡及某种目标的优化。

三、控制理论在宏观经济研究中的应用

早在五十年代初期,控制理论学者已利用工程控制的概念试图得出镇定经济系统的策略,而数理经济学家也迅速地把由数学和控制理论界得出的最优化理论应用于经济研究。在某些方面,他们取得的成果比控制理论家还早。例如,1960年控制理论家在线性二次高斯(LQG)问题中归纳出来的随机系统的分离定理,最早由计量经济学家 Simon (1956年)和 Thiel (1957年)所发表,称之为“确定性等价原理”^[5]。Понтрягин 的极大值原理也被经济学家所器重和应用。尽管有这些早期跨学科的努力,但是控制理论和经济学界所希望的交互影响当时并没有真正形成。近代控制理论的关键部分并未对经济学家

产生显著影响。

由于西方国家十分困难的经济问题，迫使经济学家注意到已在空间技术中成功应用的近代控制理论，并力图从中寻找新的有效工具。六十年代中期后，控制理论家和经济学家终于相互了解了对方的工作。1965年美国哈佛大学经济系 R. Dobell 教授和控制组的华裔学者何毓琦 (Y. C. Ho) 教授合作，利用控制理论建立经济模型。美国经济学家 D. Kendrick 接受美国电气电子工程师协会 (IEEE) 控制系统学会的邀请，担任其经济系统专业委员会的主席。1972年由美国国家经济研究局发起，在普林斯顿召开了第一届由经济学家和控制理论家参加的“随机控制和经济系统”工作会议。邹至庄 (G.C. Chow) 教授和 M. Athans 教授任主席。讨论会表明，随机控制研究中所面临的问题对经济学有直接的意义。该届工作会议起了“打破坚冰”的作用，显示了相互合作的有益性。以后又召开了第二届工作会议。美国联邦储备局在会上介绍了如何用定量模型作为决策的基础，如何用线性二次最优控制 (LQG) 概念控制货币的供应等。自此，经济学家和控制理论家相结合研究经济问题的风气盛行起来了^[15,14]。

控制理论用于宏观经济研究的情况已有文献^[14,15] 综述，简介如下：

最早将经典控制理论应用于宏观经济模型研究的是以 Tustin (1953年) 和 Phillips (1954年) 的工作为代表，他们采用比例、积分和微分 (PID) 控制来镇定经济系统。七十年代以后仍有人沿着这个方向进行研究工作，如 Cooper 和 Fischer 的镇定 St. Louis 联邦储备模型^[14]。最优控制理论最早应用于宏观经济模型见于 Theil 和 Simon 的论文^[14]。后来这方面的研究工作较多，但大多是利用确定性模型。例如，1972年 Pindyck 应用线性二次理论进行了由十个方程组成的美国经济模型的优化研究。A. Norman 和 M. Norman 应用最优控制理论对美国经济的非线性 Klein 模型进行了优化研究等等。大多数这方面的论文都采用变分法或极大值原理求得一个开环最优控制策略。所采用的模型是季度的，含有不多的控制变量，如政府开支、税收及货币供应等。最优控制所采用的目标函数通常都是变量对其目标量偏差的二次函数，一般称为福利函数^[2]。

由 Theil 和 Simon 所倡导的应用随机控制理论，研究宏观经济的思想当时并没有引起其他人的重视，直到七十年代以后，邹至庄和 Athans 才将这一理论应用于优化线性二次型的经济模型。1973年 Norman 成功地证明了 Theil 早期的计量经济学研究成果与控制理论的关系，即线性反馈控制和确定性等价的关系^[14]。邹至庄和 Kendrick 的著作^[2,16] 对应用随机控制理论研究宏观经济问题作了精辟的阐述。

由于经济学家经常将宏观经济模型的系数当作随机变量处理，所以此时线性二次高斯模型不再适用了。

七十年代以后有不少论文致力于这类带有随机系数模型最优控制的研究。1974年 D. Kendrick 和 J. Majors 利用 Bryson 和何毓琦的方法研究了这一问题，即增扩了系统的状态变量，把随机系数包含在内。这样，经过线性化后，再按线性随机控制问题处理，使控制律中的状态反馈项含增扩的状态项^[16,17]。S. Turnovsky 则利用 Monham 的方法，附加一个与状态变量有关的噪声项于已含噪声的状态方程中，然后再求解控制律^[13]。邹至庄发展了由 Aoki (青木) 提出的求取控制律的动态规划方法^[2,16]。美国 Connecticut 大学 Y. Bar-shalom 等人致力于研究参数自适应的非线性随机动态模型，并把这一成果推广到

宏观经济系统的优化问题^[26]。他们的非线性随机最优控制算法具有“谨慎”(Caution)和“探测”(Probing)功能,可以充分利用所有的先验信息和后验信息,使系统具有自适应和自学习能力,因而可能部分改善小样本估计模型不精确的缺陷。

从宏观经济的镇定到最优控制,必须预先获得系统的数学模型。因此,无论经济学家还是自动控制理论家都致力于建模工作。经济系统模型待估计的参数较多,而可供利用的历史统计数据又比较少。对于线性模型,参数估计所采用的方法仍旧是推广的最小二乘法和极大似然估计法。

常规的最小二乘法对有色噪声只能给出一个有偏和非一致性的估计,这迫使人们转向“有限信息法”和“充分信息法”。前者包括两级最小二乘法(2SLS)和有限信息极大似然法(LIML);后者包括三级最小二乘法(3SLS)和充分信息极大似然法(FIML)。所谓充分信息法就是将整组联立方程一起估计,充分利用每一方程的所有信息^[4,19]。这些方法在小样本下的有效性可以用 Monte Carlo 方法检验。检验结果是,两级最小二乘法是一种折衷的方法,因为它既避免了常规最小二乘法的有偏性和非一致性,又避免了象充分信息法那样对模型拟定误差和量测误差的敏感性。如果模型的拟定是正确的,且结构方程随机误差的协方差阵不是非常接近对角阵,则充分信息法更有效^[4,19]。

下列几项研究工作,对宏观经济系统今后的建模和控制可能有方向性的影响:1973年美国 T. Upadhyay 将具有估计和控制双重功能的适应性控制引入宏观经济随机线性模型的研究,以克服小样本所带来的困难^[20]。接着是如前所述的 Y. Bar-shalom 等人对非线性随机动态系统优化的双重功能的研究工作。

为了体现经济结构中上层组织和下层组织以及同一层次各个组织间的相互联系,经济模型必须具有所谓“递阶”结构。经济理论工作者必须研究某一时期某国家经济的总目标以及各级组织的目标,研究各组织间信息的交换和利用,为制定模型提供依据。何毓琦等人对最优控制系统信息结构的研究和队决策理论的发展有助于进一步完善宏观经济模型。实际上,包括中央计划经济体系在内的所有经济结构都包含多个决策者,各个决策者又处于不同的地位,他们的目标也不尽相同,各个决策者可资利用的信息也有很大差异。这样便形成了不同信息结构和不同目标体系的多人决策问题。

如果各决策者对当时的所有信息(或历史的统计数据)是完全已知的,而总目标又可以表示为下级各分目标的加权和,下级必须按照上级规定的指令执行,这便形成了典型的经典信息结构下的递阶决策问题。这类问题属于大系统理论中递阶控制所研究的范畴。

如果各决策者对当时的所有信息不完全已知,总目标可以表示为下级各分目标的加权和,上、下级之间或本级各组织间信息交换不完备,这便形成了非经典信息结构下的分散决策问题。这类问题属于大系统理论中分散控制所研究的范畴。

如果各决策者对当时的信息完全已知(或不完全已知),各个决策者的目标又发生冲突(一些决策者希望某个指标为最大,而另一些决策者却希望为最小),这便形成了经典(或非经典)信息结构下的多人对策问题。这类问题属于大系统理论中递阶对策(或 Stackelberg 对策)所研究的范畴。

事实上,利用大系统理论建立的宏观经济模型已经出现,文献[21]即是一例。这是一个分散决策模型,其中一个金融决策者控制货币发行量,另一个财政决策者控制政府开

支和附加税。他们各自要使自己的二次目标函数为最小。该模型是 9 阶的, 利用 20 个季度数据得出了开环确定性 Nash 策略。

四、宏观经济数学模型的发展方向

1. 大规模非线性随机模型

采用线性模型描绘宏观经济系统时, 其真实性有时受到怀疑, 因有些方程系数本身(如物价指数)也为变量。因此, 在建模中人们愈来愈倾向于非线性模型。这种非线性常常以两个变量的积或商的形式出现^[2,18]。另外, 生产关系式等也常是非线性的。美国 Michigan 季度经济模型即是一例。大规模非线性模型用来研究多周期的最优政策制定, 这还是七十年代的事情。线性化后降阶再求近似次优反馈解或线性化后求近似解, 以及直接从非线性模型求开环时序解等计算方法, 示于文献 [2, 15, 18]。

宏观经济数学模型的规模正变得愈来愈大^[22]。由于客观需要, 宏观经济模型中随机方程数目不断增加, 这使模型所反映的因素也不断增加, 其模型复杂性(如非线性、动特性等)的程度越来越强。由于大模型中的变量不是高度集结的, 一些重要的因素能够直接反映, 因此, 大模型能处理更重要的问题; 预测精度更高; 能适应情况变化和政策评价的需要。但是, 大模型的辨识需要更多的数据资料, 因此使建模受到一些限制, 同时大模型在使用、掌握上也较中、小型模型困难, 建模费用较大。

2. 数种模型相结合

一个国家的经济是非常复杂的, 往往不能只用一种宏观模型反映。因此, 在实用中常把几种宏观经济模型结合起来应用。美国七十年代的 DRI 计量经济模型是把投入产出模型作为工业部门的一个子模型。在研究人均产值、粮食进口等问题时, 就要考虑人口子模型, 特别是对发展中国家更是如此^[23,24]。此外, 文献 [25] 把政府作为一个子模型加入宏观经济模型, 使如货币和财政政策等一些外生变量变成内生变量。

3. 自学习和自适应的随机模型^[26]

Y. Bar-shalom 等人提出的闭环双重自适应控制的算法, 可以用来优化系数和状态都具有不确定性的宏观经济模型。这个算法在优化过程中不仅能进行“学习”, 而且能控制系统所冒的风险。文献 [26] 在一个小模型上运用了这一方法。这种方法是有潜力的, 需进一步研究算法的简化以达到实用程度, 并应用这类算法优化大型非线性随机的宏观经济模型。

4. 对策论用于宏观经济决策

五十年代初, 对策论的奠基人 J. Von Neumann 等人在建立这一理论时就和经济行为相联系^[27], 其后有许多学者致力于理论和应用的研究。法国学者 L. Pau 曾把丹麦经济的建模处理成各个部门(子系统)间的多人非零和对策问题, 以逼近一个 Nash-Cournot 平衡控制^[28]。目前, 应用对策论解决宏观经济决策问题的兴趣仍在增长, 但大多数的研究只限于考虑一个小的线性模型。进一步的研究应该是针对大型非线性动态模型的理论和应用。最近有一些研究工作和大系统的递阶和分散控制结构结合起来, 这将在下面加以介绍。

5. 多级递阶和分散控制模型

社会本身是递阶结构的,宏观经济正是在这种结构下呈现的.一些苏联学者在经济建模中十分强调国家、工业部和企业这种三级递阶结构,特别在研究国家经济规划模型时更是如此.例如已建立的有匈牙利和墨西哥的国家计划模型^[29].

分散控制结构看来大多以市场经济为背景,前文介绍的文献[21]即是一例.事实上,在西方国家中,决策机构常常是多头的,有中央政府、地方政府、中央银行和工会,甚至还包括大型私人企业等等.他们都有各自的目标函数,各自的行动方式和对同一个经济系统的各自的数学模型.这类多代理人且有冲突目标的决策问题是典型的对策问题,文献[30]把这类问题与经济问题中的“推测变分”(Conjectural Variation)原理相结合,以求解多人对策的推测变分解.这一方向无疑还有待深入研究.

另一种研究方法是在整体模型中包括政治和经济两个子系统.奥地利的政治-经济模型^[31]即是一例.经济模型是一个非线性随机的宏观计量经济模型,而政治模型则用类似于计量经济建模方法建立起来.二者之间的关系,一方面是声望估计函数,表示选民如何根据经济情况来评价政府;另一方面是反应函数,表示政府对经济情况所采取的措施.论文用仿真方法研究了整体模型对各种外生扰动的稳定性.

计入了社会的实际结构状况并引用大系统的递阶和分散控制结构以及多人合作或非合作对策理论,使得宏观经济模型的研究逐步发展成社会-经济模型(Social Economic Model)的研究.这也是当前宏观经济模型的发展方向之一.

最后,作者认为,为了使宏观经济数学模型更本质地描述经济现象,在理论和方法上有必要有所突破.首先需要正确的、定量的经济理论作指导.我国经济理论界目前亟待解决的问题之一,是建立一套适合我国国情的消费理论、投资理论、积累理论、流通理论等,使之形成相对严格的定量关系式.这一任务是非常艰巨的.陕西省西北大学经济系胡传机等同志在这方面的研究已走出了可喜的第一步^[11].他们试图把统计物理学中的“耗散结构理论”和系统论中的“协同作用理论”引入经济学的研究,受到我国一些著名学者如钱学森等人的鼓励和支持.尤其要指出的是,目前数学界正在研究的集值映射与微分包含理论可能是开辟非 Markov 性系统研究的一条途径.事实上,苏联学者已经把这一理论扩展到经济问题的研究^[32],其合适性还有待进一步研究.

参 考 文 献

- [1] 张钟俊、侯先荣,经济系统的数学模型,自动化学报,第7卷,1981年,第2期,138.
- [2] Chow, G. C., *Analysis and Control of Dynamic Economic Systems*, John Wiley and Sons, 1975.
- [3] Shapiro, E., *Macroeconomic Analysis*, Harcourt Brace Jovanovich, Inc. U. S. A. 1978.
- [4] Intriligator, M. D., *Econometric Models, Techniques, and Applications*, Prentice-Hall, Inc. U. S. A. 1978.
- [5] 张钟俊、张启人、侯先荣,经济控制论论文集,西安系统工程学会出版,1982.
- [6] Palmer, J. D., *Large Scale Systems: Systems, Man, and Cybernetics Overview*, *IEEE Trans. On SMC-13*, 1983, No. 4.
- [7] Bergman, L., *A System of Computable General Equilibrium Models for a Small Open Economy*, *Mathematical Modelling*, 3(1982), 421—435.
- [8] Bulmer-Thomas, V., *Input-Output Analysis in Developing Countries*, John Wiley and Sons Ltd. 1982.
- [9] 密契尔·P·托路达,经济发展计划化,模型与方法,中国社会科学出版社,1979.

- [10] Leontief, W. W., *Input Output Economics*, New York, Oxford Univ. Press, 1966.
- [11] 周豹荣, 非平衡系统经济学与经济计量学概要, 吉林省社会科学院经济研究所出版, 1982.
- [12] Wall, K. D., J. H. Westcott, *Macroeconomic Modelling for Control*, *IEEE Trans. AC-19*(1971), No. 6.
- [13] Pitchford, J., S. Turnovsky, *Application of Control Theory to Economic Analysis*, North-Holland, Amsterdam, 1977.
- [14] Athans, M., D. Kendrick, *Control Theory and Economics: A survey, Forecast, and Speculations*, *IEEE Trans. AC-22*(1974), Oct.
- [15] Westcott, J. H. et al., *Macroeconomic Policy Formulation, A Contribution from Control Theory*, IEE Proc. 1982, Pt. D. No. 5.
- [16] Kendrick, D., *Stochastic Control for Economic Models*, McGraw Hill Book Company, 1981.
- [17] Kendrick, D., J. Majors, *Stochastic Control with Uncertain Macroeconomic Parameters*, *Automatica*, **10**(1974), 587—594.
- [18] Chow, G. C. et al., *The Control of Large-Scale Nonlinear Econometric Systems*, *IEEE Trans. AC-23*(1978), No. 2.
- [19] Chow, G. C., *Identification and Estimation in Economic Systems: A Survey*, *IEEE Trans. AC-19*(1974), No. 6.
- [20] Deshpande, J. G., T. N. Upadhyay and D. G. Lainiotis, *Adaptive Control of Linear Stochastic Systems*, *Automatica*, **9**(1973), 107—115.
- [21] Pindyck, R., *Optimal Economic Stabilization Policies Under Decentralized Control and Conflicting Objectives*, *IEEE Trans. AC-22*, 1977, 517—530.
- [22] 乌家培, 当前世界上宏观经济模型的一些情况和问题, 数量经济理论模型和预测, 能源出版社, 1984.
- [23] Fitch, J. B., P. A. Frick, *A Dynamic Macroeconomic Model for the State Oregon*, *IEEE Trans. SMC-4*(1974), No. 3.
- [24] Stefani, R. T., *Optimal Control of a Developing Nation's Economy*, *IEEE Trans. SMC-13*(1983), No. 6.
- [25] Freg, B. S., F. Schneider, *Recent Research on Empirical Politico-economic Models*, In D. A. Hibbs and H. Fassbender (Eds.) *Contemporary Political Economy*, North-Holland, Amsterdam, 1981.
- [26] Bar-Shalom, Y., K. D. Wall, *Dual Adaptive Control and Uncertainty Effects in Macroeconomic Systems Optimization*, *Automatica*, **16**(1975), 147—156.
- [27] Neumann, J. V., O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press, 1953.
- [28] Pau, L. E., *A Differential Game Among Sectors in a Macroeconomy*, *Automatica*, **11** (1975), 473—485.
- [29] Dirickx, Y. M. I., L. P. Jennergren, *Systems Analysis by Multilevel Methods with Application to Economics and Management*, John Wiley and Sons, 1979.
- [30] Kosaka, H., *Optimization of Econometric Models with Multi-Agents—Introduction of Symposium on Large Scale System Theory and Application*, Warsaw, 1983, 245—250.
- [31] Neck, R., *Modelling and Simulation of the Politico-Economic System for Austria*, Preprint of IFAC Symposium On Large Scale System Theory and Application, Warsaw, July, 1983.
- [32] Пшеничный, Б. Н., *Выпуклый Анализ и Экстремальные Задачи*, Москва «Наука» Главная Редакция, Физико-Математической Литературы, 1980.

CONTROL THEORY AND MACROECONOMIC MODEL: A SURVEY

WAN BAIWU HAN CHONGZHAO

(Xi'an Jiaotong University)

ABSTRACT

From the point of view of control theory and systems engineering, this paper surveys briefly the history and recent development of the macroeconomic mathematical model, analyses and discusses the important features which distinguish between macroeconomic model and physical or engineering system model, and the application of the model to the forecasting, policy evaluation and structural analysis of an economic system. The paper also surveys the application of control theory to the modelling and control of a macroeconomic system, and discusses the tendency of model development in the near future.