

**编者按:**在钱学森教授 90 华诞之际,由中国自动化学会、中国系统工程学会联合举办了“钱学森学术思想报告会”(于 2001 年 12 月 3 日在中国科学院数学与系统科学研究院报告厅举行)。以下两篇文章就是在这次会议上的学术报告。

**文章编号:**1000-6788(2002) 05-0001-07

## 从定性到定量综合集成方法——案例研究

于景元<sup>1</sup>, 涂元季<sup>2</sup>

(1. 北京信息与控制研究所, 北京 100037; 2. 中国人民解放军总装备部科技委, 北京 100034)

**摘要:** 介绍了钱学森提出的“从定性到定量综合集成方法”,并以案例研究说明它的实际应用<sup>19</sup>。

**关键词:** 从定性到定量综合集成方法; 案例研究

**中图分类号:** N94

**文献标识码:** A (20)

## Meta-synthesis — Study of Case

YU Jing-yuan<sup>1</sup>, TU Yuan-ji<sup>2</sup>

(1. Beijing Institute of Information and Control, Beijing 100037, China; 2. General Equipment Headquarters of PLA of China, Beijing 100034, China)

**Abstract:** The paper introduces Qian Xue-sen's meta-synthesis and study of case in application.

**Key words:** meta-synthesis; study of case

2001 年 12 月 11 日是钱学森同志九十寿辰<sup>19</sup>中国自动化学会和中国系统工程学会联合举行学术报告会,祝贺钱老九十华诞,这是一次非常有意义的学术活动<sup>19</sup>。

在钱老辉煌的科学生涯中,他的研究领域有应用力学、喷气推进与航天技术、工程控制论、物理力学、系统工程、系统科学、思维科学、人体科学、科学技术体系与马克思主义哲学等<sup>[1]</sup><sup>19</sup>跨越了工程技术到技术科学、基础科学直到马克思主义哲学的四个层次<sup>19</sup>钱老在这些领域中不仅建树了许多丰碑,而且充分体现了他的理论与实践紧密结合,科学技术与马克思主义哲学紧密结合的研究特色与学术风格<sup>19</sup>他所取得的成就充分表明:“钱学森是一位杰出的科学家、思想家<sup>19</sup>他把科学理论和火热的改造客观世界的革命精神结合起来<sup>19</sup>一方面是精深的理论,一方面是火热的斗争,是‘冷’与‘热’的结合,是理论与实践的结合<sup>19</sup>这里没有胆小鬼的藏身处,也没有自私者的活动地,这里需要的是真才实学和献身精神”<sup>[1]</sup><sup>19</sup>钱学森的科学精神、科学思想、科学方法是中华民族宝贵的精神财富,永远值得我们学习和继承<sup>19</sup>。

在钱老丰富多彩的科学历程中,有一个非常突出的鲜明特点,那就是他的系统思维和系统思想<sup>19</sup>从 20 世纪 70 年代末以来的 20 多年时间里,是钱学森系统思维、系统思想非常活跃的时期,一方面是面向社会实践的应用,一方面是理论与方法的创新<sup>19</sup>基于这两个方面,他的系统思想、系统方法、系统理论与系统应用,都有了新的发展,进入了新的阶段,达到了新的高度<sup>19</sup>。

钱老在美国创建了工程控制论,回国后又大力推动运筹学的研究<sup>19</sup>如果说这些是他早期对系统理论贡

(20) 收稿日期:2002-04-04

资助项目:国家自然科学基金(79990580)

作者简介:于景元,中国航天科技集团公司 710 所研究员,科技委主任;涂元季,研究员

献的话,那么创建系统学则是对系统理论的新贡献<sup>19</sup>其中,在系统应用方面,他将系统工程推进和发展到复杂巨系统工程<sup>19</sup>这些成就是具有里程碑意义的贡献<sup>19</sup>其核心是他提出的“从定性到定量综合集成方法”和“从定性到定量综合集成研讨厅体系”(以下简称综合集成方法论)<sup>19</sup>关于钱老在系统学理论方面的贡献,过去我们在不同场合,根据自己的理解,曾做过介绍<sup>19</sup>本文则着重介绍钱老系统科学的实践性,即以案例研究来说明它的实践意义<sup>19</sup>。

## 1 综合集成方法论

20 世纪 80 年代末到 90 年代初,钱学森先后提出“从定性到定量综合集成方法”以及“从定性到定量综合集成研讨厅体系”,并把运用这套方法的集体称为总体设计部<sup>[2]</sup><sup>19</sup>这是钱学森系统思维和系统思想在方法论上的具体体现<sup>19</sup>综合集成方法的实质是把专家体系、数据和信息体系以及计算机体系有机结合起来,构成一个高度智能化的人·机结合、人·网结合的体系<sup>19</sup>它的成功应用就在于发挥这个体系的综合优势、整体优势和智能优势<sup>19</sup>它能把人的思维、思维的成果、人的经验、知识、智慧以及各种情报、资料和信息系统集成起来,从多方面的定性认识上升到定量认识<sup>19</sup>。

运用这个方法也需要系统分解,在分解后研究的基础上,再综合集成到整体,实现  $1+1>2$  的飞跃,达到从整体上研究和解决问题的目的<sup>19</sup>综合集成方法吸收了还原论方法和整体论方法的长处,同时也弥补了各自的局限性<sup>19</sup>它是还原论方法与整体论方法的辩证统一,既超越了还原论方法,又发展了整体论方法,是科学方法论上的重大进展,具有重要的科学意义和深远的学术影响<sup>19</sup>。

综合集方法作为科学方法论,其理论基础是思维科学、方法基础是系统科学与数学科学,技术基础是以计算机为主的现代信息技术,实践基础是系统工程应用,哲学基础是马克思主义认识论和实践论<sup>19</sup>。

这里,首先我们需要区分一下方法论和方法,这是两个不同层次的问题<sup>19</sup>方法论是关于研究事物所遵循的途径和路线,在方法论指导下是具体方法问题,而且方法也不止一种,可能有多种方法<sup>19</sup>但如果方法论不对,具体方法再好,也解决不了根本问题<sup>19</sup>从近代科学到现代科学,还原论方法发挥了重要作用,特别在自然科学领域中取得了巨大成功<sup>19</sup>但是,现代科学技术的发展,向这种方法论提出了挑战,许多事实使科学家们认识到“还原论的不足之处正日益明显”<sup>[3]</sup><sup>19</sup>我们正面临着这种方法论处理不了的问题<sup>19</sup>国外的复杂性研究或国内的开放的复杂巨系统研究,都是这类问题<sup>19</sup>处理这类问题首先遇到的是方法论问题,其次是方法问题<sup>19</sup>美国的 Santa Fe Institute(SFI)关于复杂性的研究,在方法上是有创新的,但在方法论上没有突破还原论方法的束缚,所以陷入了困惑的境地<sup>[4]</sup><sup>19</sup>。

综合集成方法是方法论上的创新,它是研究复杂巨系统和复杂性问题的方法论<sup>19</sup>在应用中,将这套方法论结合到具体的复杂巨系统就可以开发出一套方法体系,不同的复杂巨系统,方法体系可能是不同的,但方法论却是同一的<sup>19</sup>从方法论层次来看,它对复杂巨系统和复杂性研究的指导作用主要体现在:

### 1.1 研究路线

综合集成方法论采取了从上而下和由下而上的路线,从整体到部分再由部分到整体,把宏观和微观研究统一起来,最终是从整体上研究和解决问题<sup>19</sup>例如,在研究大型复杂课题时,从总体出发,可将课题分解成几个子课题,在对每个子课题研究的基础上,再综合集成到整体,这是很重要的一步,并不是简单地将每个子课题的研究结论拼凑起来,这样的“拼盘”是不会拼出新思想、新结果的,也回答不了整体问题<sup>19</sup>这就是综合集成与一般分析综合方法的实质区别<sup>19</sup>。

### 1.2 技术路线

采取人·机结合,人·网结合,以人为主的信息、知识和智慧的综合集成,这个技术路线是以思维科学为基础的<sup>[5]</sup><sup>19</sup>思维科学的研究表明,人脑和计算机都能有效处理信息,但两者有极大差别<sup>19</sup>从信息处理角度来看,人脑思维一种是逻辑思维(抽象思维),它是定量、微观处理信息方法;另一种是形象思维,它是定性、宏观处理信息方法,而人的创造性主要来自创造思维,创造思维是逻辑思维和形象思维的结合,也就是定性与定量相结合、宏观与微观相结合,这是人脑创造性的源泉<sup>19</sup>今天的计算机在逻辑思维方面,确实能做很多事情,甚至比人脑做得还好,还快,并善于信息的精确处理,有很多科学成就已证明了这一点,如著名数

学家吴文俊先生的定理机器证明等<sup>19</sup>但在形象思维方面,现在的计算机还不能给我们帮什么忙,至于创造思维,只能依靠人脑了<sup>19</sup>从这个角度来看,期望完全靠机器来解决复杂性问题,至少目前是行不通的<sup>19</sup>如果目前完全依靠机器能解决的问题,那肯定不是上述的复杂性问题<sup>19</sup>但计算机在逻辑思维方面毕竟有它的优势,机器能作的尽量由机器去完成,以最大限度地扩展人脑逻辑思维处理信息的能力<sup>19</sup>如果把人脑和电脑结合起来,就会比人脑更有优势,这也是 $1+1>2$ 的道理<sup>19</sup>但人·机结合必须以人为主<sup>19</sup>美国 SFI 的科学家们,在复杂性研究中感到困惑,也与他们走了一条人·机结合以机器为主的技术路线有关<sup>19</sup>他们在复杂性研究中,很重视计算机的应用,在这方面也确实有一些创新,如遗传算法、演化算法、以 Agent 为基础的计算机建模、人工生命等等,这些都是属于方法层次上的创新<sup>19</sup>但如何把人和机器结合起来,更重要的是方法论层次上的问题<sup>19</sup>

1.3 实现信息、知识、智慧的综合集成

信息、知识、智慧这是三个不同层次的问题<sup>19</sup>有了信息未必有知识,有了信息、知识也未必就有智慧,信息的综合集成可以获得知识,信息、知识的综合集成可以获得智慧<sup>19</sup>人类有史以来,是通过人脑获得知识和智慧的<sup>19</sup>现在由于计算机技术的发展,我们可以通过人·机结合的方法来获得知识和智慧,在人类发展史上,这是具有重大意义的进步<sup>19</sup>

综合集成方法就是这种人·机结合获得知识和智慧的方法论<sup>19</sup>具体来说,综合集成方法,包括以下的内容和过程<sup>19</sup>

1. 定性综合集成

由不同学科、不同领域专家组成专家体系,这个专家体系具有研究复杂巨系统所需要的合理知识结构<sup>19</sup>每个专家都有自己的科学理论知识、经验知识,这些知识都是对客观世界规律的认识,都能从一个方面或一个角度去研究复杂巨系统问题,把这些专家和专家们的科学理论、经验知识、智慧结合起来,通过结合、磨合以至融合,从不同层次(自然的、社会的、人文的)、不同方面和不同角度去研究同一个复杂巨系统,就会获得其全面的认识<sup>19</sup>这个过程体现了不同学科、不同领域知识的交叉研究<sup>19</sup>系统本身就把多种学科的知识用系统方法联系起来,统一在系统框架内,明确系统结构、系统环境和系统功能<sup>19</sup>通过这种方法对所研究的复杂巨系统问题(如社会系统中宏观经济问题,详见后面),提出经验性假设,形成定性判断,如猜想、思路、对策、方案、设想……等等<sup>19</sup>它所以是经验性判断,是因为其正确与否还没有经过严谨科学方式加以证明<sup>19</sup>但这一步是很重要的,许多原始创新思想都是从这里产生<sup>19</sup>从思维科学角度来看,这个过程是以形象思维为主,是信息、知识和智慧的定性综合集成<sup>19</sup>

在自然科学、数学科学等这些所谓“精密科学”中,是用严密的逻辑推理、精确的物理、化学和生物实验,来证明和验证经验性判断的正确与否,从而得出科学结论<sup>19</sup>但这种方法对研究复杂巨系统来说,就显得不够了<sup>19</sup>复杂巨系统问题,如社会系统中的问题既不是简单的逻辑推理能得出结论的,也不能直接进行社会实验<sup>19</sup>这就需要有新的方式来完成这个过程<sup>19</sup>

2. 定性定量相结合综合集成

为了用严谨科学方式去证明经验性判断的正确与否,我们需要拥有这个系统的有关数据和信息资料,建立数据和信息体系以及指标体系,包括描述性指标(如系统状态变量、观测变量、环境变量、调控变量)以及评价指标体系<sup>19</sup>指标体系是系统定量描述的一种方法,但还不是完整的描述方式<sup>19</sup>

用模型和模型体系来描述系统是系统定量研究的有效方式<sup>19</sup>这种方式在自然科学、系统科学中被广泛使用<sup>19</sup>在系统科学中,对简单系统、大系统、简单巨系统等研究,几乎完全是基于数学模型的<sup>19</sup>但对复杂系统,特别是复杂巨系统,期望完全靠数学模型来描述,目前还有相当大的困难<sup>19</sup>一方面需要新的建模方法,另一方面也需要发展新的数学理论<sup>19</sup>但计算机技术、知识工程、软件技术、算法等的发展,使基于规则的计算机建模,得到了迅速发展<sup>19</sup>这类计算机模型所能描述的系统更为广泛,也更为逼真<sup>19</sup>在这方面,美国 SFI 的一些工作是值得我们重视的<sup>19</sup>把数学模型和计算机模型结合起来的系统模型,则尽可能地逼近实际系统<sup>19</sup>其逼近的程度取决于所要研究问题的精度要求<sup>19</sup>如果满足了所研究问题的精度要求,那么这个系统模型是可以信赖的,就可以应用这个模型来进行我们所要研究的问题<sup>19</sup>不同的系统,其模型精度要求是不一

样的,例如人口系统的精度要求在千分之一左右,经济系统是百分之三左右<sup>19</sup>。

还应强调一点,对复杂系统,特别是复杂巨系统的建模,必须紧密结合系统实际,要基于对系统的真理解<sup>19</sup>。为此,甚至借助于经验知识的帮助,而不是追求数学上的优美,这是一个经验与科学相结合的过程<sup>19</sup>。因为数学上的完美性,并不一定代表系统的真实性<sup>19</sup>。

在数据与信息体系、指标体系、模型体系的支持下,对专家体系提出的经验性判断进行系统仿真和实验<sup>19</sup>。从系统环境、系统结构、系统功能之间的输入-输出关系,进行系统分析与综合<sup>19</sup>。这相当于用系统实验来验证经验性判断的正确与否,不过这个系统实验不是系统实体实验,而是在计算机上进行的仿真实验<sup>19</sup>。这样的计算机仿真实验有时比实体实验更有优越性,例如系统未来发展趋势,对系统实体来讲是难以定量预测的,但在计算机仿真实验中却是可行的<sup>19</sup>。

通过系统仿真和实验,运用评价指标体系对经验性假设正确与否给出定量描述,这就增加了新的信息<sup>19</sup>。这个过程可能要反复进行多次,以便把专家的经验,他们所想到的各种因素都能反映到仿真和实验之中,从而观察到可能的定量结果,增强对问题的定量认识<sup>19</sup>。

### 3. 从定性到定量综合集成

由专家体系对前一次系统仿真和实验的结果进行综合集成<sup>19</sup>。这一次信息、知识的综合集成,较开始提出的经验性判断来说,毕竟增加了新的信息,而且是定量的<sup>19</sup>。这是把原始的经验性判断上升到定量结论非常关键的一步<sup>19</sup>。综合集成的结果,无非是两种,即定量结论是可信的;或者是不可信的<sup>19</sup>。如果是后者,那么需要进行那些改进,例如调整模型或者调整参数等,再重复上述过程,通过人·机交互、反复对比,逐次逼近,直到专家们都认为定量结果是可信的,也就完成了从定性到定量综合集成<sup>19</sup>。这时的结论已不再是经验性判断,而是经过严谨论证的科学结论了<sup>19</sup>。如果定量结果否定了原来的经验性判断,那也是一种新的认识,又会提出新的经验性判断<sup>19</sup>。

综合以上所述,从定性综合集成提出经验性判断,到人·机结合的定性定量相结合综合集成得到定量描述,再到从定性到定量综合集成获得科学结论,这就实现了从经验性的定性认识上升到科学的定量认识<sup>19</sup>。这个过程体现了这套方法的一些基本特点:

- ① 按照系统结构,能把多种科学结合起来,真正实施和实现多学科交叉研究。
- ② 能把科学理论和经验知识结合起来,把人们对客观事物星星点点的知识,汇集成一个系统的整体结构,达到定量认识<sup>19</sup>。经验知识属于前科学范畴,它能回答是什么,但还不能回答为什么<sup>19</sup>。尽管如此,它对复杂系统和复杂巨系统的研究,仍然是很宝贵的<sup>19</sup>。
- ③ 定性综合集成提出经验性判断,这是非常重要的一步,虽然是经验性判断,但其中蕴含着专家体系知识和智慧的结晶,如果说这一步需要大胆假设的话,那么后续两步就是严谨求证<sup>19</sup>。没有前者难以创新,但没有后者,这个创新又缺少科学依据,难以确认<sup>19</sup>。这个经验性假设只能由专家体系提出,机器体系是提不出来的<sup>19</sup>。
- ④ 人·机结合以人为主,这里的人是指专家体系<sup>19</sup>。这个方法的应用,需要专家体系采用集体工作方式,而不是个体研究方式<sup>19</sup>。当然,专家集体要有一位知识和经验宽广,视野和思维都更为开阔的科学家来领导<sup>19</sup>。
- ⑤ 这个方法可以处理具有层次结构的系统问题,能把微观研究和宏观研究统一起来,诸如涌现(Emergence)这类问题的研究<sup>19</sup>。
- ⑥ 需要有数据和信息体系的支持,这就为统计指标设计和系统观测方式,提出了新的要求<sup>19</sup>。
- ⑦ 这个方法可以在线工作,也可以离线工作,在线工作时,对机器体系功能要求更高<sup>19</sup>。它远不是 MIS、DSS 所能满足的<sup>19</sup>。
- ⑧ 这个方法体现了社会思维和辩证思维,把这个方法和计算机网络等现代信息技术结合起来,就更能发挥这个方法的优势<sup>19</sup>。钱学森提出的“从定性到定量综合集成研讨厅体系”就是体现了这些特点<sup>19</sup>。它是一个人·机结合、人·网结合的信息加工系统,知识生产系统,智慧集成系统,是知识生产力和精神生产力的实践形式<sup>19</sup>。按照我国传统说法,把一个复杂事物的各个方面综合起来,达到对整体的认识,称为集大成<sup>19</sup>。钱老进一步发展了古人这一集大成思想,提出集大成得智慧<sup>19</sup>。这就是为什么钱老把这套方法论称为大成智慧工程(Meta-synthetic Engineering)以及由此产生的理论称为大成智慧学的原因<sup>19</sup>。

## 2 一些成功的案例

如同一切科学理论方法一样,综合集成方法的科学性和有效性必须经过实践的检验<sup>19</sup>。

钱老在提出综合集成方法论的过程中,特别关注社会系统、地理系统、军事系统、人体系统中一些成功的研究<sup>19</sup>如在社会系统中,由几百个至几千个变量描述的,定性、定量相结合的系统工程方法对社会经济系统的研究;在地理系统中,用生态学、环境保护以及区域规划等综合探讨地理系统的研究;在人体系统中,把生物学、生理学、心理学、西医学、中医学和传统医学等综合起来的研究;在军事系统中,军事对阵系统和现代作战模拟的研究<sup>19</sup>钱老不仅高度重视这些实践中成功案例的研究,而且还具有从这些成功研究中提炼新概念、概括新理论的超人智慧<sup>19</sup>。这些成功的研究也是他提出综合集成方法论的实践基础<sup>19</sup>。

20 世纪 80 年代初,钱学森在国防科工委科技委指导了几项复杂武器系统的定量研究,这些研究在今天看来也许是初步的,但却开辟了复杂武器系统定量研究的新方向,使人深受启迪<sup>19</sup>。80 年代中,他又对一项关于社会经济系统的研究十分重视<sup>19</sup>。考虑到武器系统论证工作的保密性问题,这里我们仅就社会经济系统的研究作较详细说明,使大家对从定性到定量综合集成方法有一个较为具体的认识,对于本文前面的论述,则是一个印证实例,从中也可以看出钱老是如何从实践中提炼理论方法的<sup>19</sup>。

这项工作始于 20 世纪 80 年代初,即 1983 年至 1985 年间<sup>19</sup>。当时的航天部 710 所在经济学家马宾的具体指导下,完成了财政补贴、价格、工资综合研究以及国民经济发展预测工作<sup>[6]</sup><sup>19</sup>。这是当时经济体制改革中提出的热点和难点问题<sup>19</sup>。

我国的改革开放首先从农村开始,然后转向城市<sup>19</sup>。1979 年以来,为了提高农民生产积极性,在农村实行了农副产品收购提价和超购加价政策,其结果不仅促进了农业发展,也提高了农民收入水平<sup>19</sup>。但当时的零售商品(如粮、油等)的销售价格并未作相应调整,而是由国家财政给以补贴的<sup>19</sup>。随着农业生产连年丰收,超购加价部分迅速扩大,财政补贴也就越来越多,以至成为当时中央财政赤字的主要根源;同时也使财政收入增长速度明显低于国民收入增长速度,财政收入占国民收入的比例逐年下降<sup>19</sup>。这就严重地影响了国家重点工程的投资,也制约了国民经济发展的增长速度<sup>19</sup>。

财政补贴产生的这些问题,引起了中央领导的极大重视,它已是关系到经济改革与发展的全局问题<sup>19</sup>。有关部门也曾提出通过调整零售商品价格来逐步减少以至取消财政补贴的建议<sup>19</sup>。但提高零售商品价格,又必须同时提高职工工资,否则会影响到人民生活水平,影响到安定团结的大局<sup>19</sup>。而这又涉及到财政负担能力、市场平衡、货币发行以及银行储蓄等等<sup>19</sup>。这就是当时概括为“变暗补为明贴”的改革思路<sup>19</sup>。这虽然是个价格、工资调整问题,但却涉及到了整个国民经济中的生产、消费、流通、分配各个领域<sup>19</sup>。问题的复杂和困难还在于,究竟零售商品价格调整到什么水平,工资提高到什么水平,才能取消财政补贴又使人民实际收入水平至少不降低<sup>19</sup>。对此,仅有一般思路显然是不够的,必须定量研究才有可能回答这些问题,从而为决策提供科学依据<sup>19</sup>。

马宾不仅是位经济学家,还是当时国务院经济研究中心的副干事长(干事长是经济学家薛暮桥)<sup>19</sup>。他很清楚,仅靠经济学家难以回答这些问题<sup>19</sup>。马宾非常赞赏钱学森大力倡导和推动的系统工程,并希望用系统工程方法来解决这个问题<sup>19</sup>。但仅靠系统工程专业人员也解决不了<sup>19</sup>。实践的需要,促使经济学家、各有关部门的管理专家、系统工程专业人员等走到一起,相互结合、“磨合”以至融合,从没有共同语言到相互“心领神会”,从实际的经济体制、运行机制、管理体制与机制等各个方面,进行研究和讨论,以明确问题的症结所在,找出解决问题的途径,从而形成对这个问题的定性判断<sup>19</sup>。这种定性判断已综合集成了各方面专家的科学理论、经验知识和智慧<sup>19</sup>。但它毕竟还是经验性判断,因为这种判断是否正确,能否可行,还没有用科学方式加以证明<sup>19</sup>。即使如此,这一步也是非常关键的,它是准确把握问题的实质和定量研究的基础<sup>19</sup>。

为了用系统工程方法处理这个问题,需要用系统科学来界定有关概念<sup>19</sup>。在这个课题中,财政补贴、价格、工资以及直接或间接有关的各经济组成部分,是一个相互关联、相互影响并具有某种功能的系统<sup>19</sup>。调整价格和工资实际上就是改变和调整这个系统组成部分之间的关联关系,从而改变系统功能,特别要使它具有我们所希望的功能<sup>19</sup>。这样就把问题纳入到了系统框架,进而界定系统边界,明确哪些是系统环境变量,哪些是状态变量、调控变量(政策变量)和输出变量(观测变量)等,为模型设计、确定模型功能提供定性基础<sup>19</sup>。

系统建模既需要理论方法又需要经验知识, 还需要真实的统计数据和有关信息资料<sup>19</sup>对结构化强的系统如工程系统, 有自然科学提供的各种定量规律, 系统建模较为容易处理<sup>19</sup>但对这类非结构化的复杂系统, 并没有像工程系统那样的定量规律可循, 只能从对系统的真实理解甚至经验知识出发, 再借助于大量的实际统计数据, 去提炼出系统内部的某些内在定量联系, 然后据此, 借助于数学或计算机手段, 将系统描述出来<sup>19</sup>这个系统建模所需数据量近万个, 而且还要克服数据口径不一, 时间序列不完整的困难<sup>19</sup>所有这些都是这类复杂系统定量研究的难点所在<sup>19</sup>模型是对经济实体的近似描述, 不可能也没必要把实体的所有因素都反映到模型中, 只要抓住主要矛盾去建立模型并满足所研究问题的精度要求, 那么这模型就是可以信赖的<sup>19</sup>.

这个系统建模是以市场平衡为中心建立的<sup>19</sup>在结构上分为两大部分, 一部分是国民收入分配和零售市场; 另一部分是各产业部门的投入产出关系( 见图 1 和图 2) <sup>19</sup>前者由 115 个变量和方程所描述, 其中有 44 个发展方程、7 个时序模式和 64 个关系模式<sup>19</sup>包括 14 项环境变量和 6 项调控变量, 用来体现外部环境和调控政策<sup>19</sup>后者是 237 个部门的产业关联矩阵<sup>19</sup>14 项环境变量为:

- 1) 轻工业产值;
- 2) 重工业产值;
- 3) 生活服务费用价格指数;
- 4) 国家对农村社队企业贷款额;
- 5) 农业总产值中队办工业产值;
- 6) 烟、酒、茶类价格指数;
- 7) 全民所有制企业新增职工人数;
- 8) 农村和城市人口总数;
- 9) 农业生产管理变量;
- 10) 城镇集体企业职工人数;
- 11) 全民所有制企业退、离休职工人数;
- 12) 集体企业职工退休人数;
- 13) 外贸政策变量;
- 14) 全民所有制工业企业职工劳动生产率<sup>19</sup>.

6 项政策变量为:

- 1) 粮食零售国营牌价;
- 2) 全民所有制职工工资总额;
- 3) 衣着类价格指数;
- 4) 日用生活用品价格指数;
- 5) 农业生产资料价格指数;
- 6) 食用植物油零售牌价<sup>19</sup>.

4 项输出变量( 观测变量) 为:

- 1) 财政平衡;
- 2) 市场平衡;
- 3) 货币发行与储蓄;
- 4) 人民收入水平<sup>19</sup>.

这个模型可以进行政策模拟, 也可以作经济预测, 其平均模拟误差和预测误差都在 3% 以内, 满足经济研究中的精度要求<sup>19</sup>.

运用建立起来的系统模型, 按照不同的国力条件( 环境变量), 调控变量( 价格与工资) 不同的调整起始时间、不同的调整幅度、不同的调整方法( 一次调整到位或多次性调整), 在当时的大型数字计算机 B6810 上进行了 105 种政策模拟, 并以市场平衡、财政平衡、货币流通与储蓄、职工与农民收入水平为度量标准

(评价指标),寻求最优、次优、满意和可行的调整政策,从而定量回答同时调整价格与工资能否解决财政补贴问题、调整的效果如何,何时调整为宜、如何调整最为有利等问题<sup>19</sup>。

这样的定量结果,再由经济学家、管理专家、系统工程专家等共同分析、讨论,充分发扬学术民主,畅所欲言<sup>19</sup>与开始时的定性判断相比,这一次增加了新的定量信息<sup>19</sup>在专家们进行新一轮的综合集成时,其结论可能是:这些定量结果是可信的;也可能是不可信的;或者还有什么地方需要改进的<sup>19</sup>。如果需要改进,则修正模型和调整参数,再重复上述工作<sup>19</sup>。第二次测算结果再请专家评议,这个过程可能要重复多次,反复比较,逐次逼近<sup>19</sup>用计算机语言来说,就是用结构化方法逼近一个非结构化问题,直到各方面专家都认为这些结果是可信的,再作出结论和提出政策建议,这时的结论已不再是先验的定性判断,而是有足够定量依据的科学结论,实现了从定性认识上升到定量认识的过程<sup>19</sup>。通过上述步骤,当时选择了五种政策建议上报中央,供领导决策时参考<sup>19</sup>后来的实践也证明,这项研究成果对当时的物价改革起到了积极地推动作用,受到中央领导的高度评价<sup>19</sup>。

需要说明的是,这套方法完全是基于实践的需要,从实际出发硬逼出来的,当时没有人想到其中还蕴含着什么深刻道理<sup>19</sup>。但钱老却看出,这个方法能把多学科理论和经验知识结合起来,把定性研究和定量研究有机结合起来,从多方面的定性认识上升到定量认识,解决了当时还没有办法处理的复杂巨系统问题<sup>19</sup>。它体现了人·机结合,以人为为主的特点,同时钱老也指出了该方法的某些不足,例如在综合集成专家意见时,还是手工作业式的,计算机的其它功能尚未发挥出来<sup>19</sup>。

尤其需要强调指出的是,钱老对当前这场以计算机、网络和通信技术为核心的信息技术革命,不仅指出了它对人类社会发展的影响将导致一场新的产业革命(第五次产业革命),而且对人自身,特别对人的思维会产生重要影响,将出现人·机结合的思维方式,人将变得更加聪明,从而不仅推动了思维科学的发展,而且信息革命的一些成果,如专家系统、知识工程、软件技术、网络技术、虚拟现实技术等等,如能引入到这类研究方法中,必将进一步完善和发展综合集成方法<sup>19</sup>。

在钱老提出“从定性到定量综合集成方法”和“从定性到定量综合集成研讨厅体系”后,我们这项工作进入了自觉阶段,不仅在应用上有了很大进展,而且对这套方法的完善也上了一个新台阶<sup>19</sup>。

从1992年到1996年间,受国务院研究室的委托,在国家863计划智能计算机组的支持下,由中国航天工业总公司710所、中国科学院自动化所、华中理工大学系统工程所三方联合,进行了宏观经济智能决策支持系统(MEIDSS)的研究与开发<sup>[7]</sup><sup>19</sup>。MEIDSS是用于支持宏观经济决策,为决策者或决策部门把握经济发展状态、预测经济发展趋势,监测经济系统运行和规划经济发展,为决策部门提供定量参考依据<sup>19</sup>。因此,MEIDSS将宏观经济的预测、监测、规划和评价作为系统设计的主要指标,同时对一些特定经济问题,如通货膨胀、投资过热、养老保险等专题,也能灵活地建模、仿真与综合集成,给出定量的决策参考<sup>19</sup>。

MEIDSS是根据“从定性到定量综合集成方法”进行设计的,它是一个人·机结合系统,人·机智能优势互补,形成“人帮机、机帮人”的智能决策支持系统<sup>19</sup>。MEIDSS的机器体系功能大大加强了,更便于人·机结合,以人为为主,进行知识的综合集成<sup>19</sup>。机器体系有两个层次的结构,第一个层次是由模型体系、知识体系、信息体系、指标体系、方法体系所构成;第二个层次是支持这五个体系的软件工具<sup>19</sup>。这个系统开发是成功的,受到有关方面的充分肯定和高度评价<sup>19</sup>。

但随着信息技术的迅速发展,特别是网络技术的发展,很快就发现MEIDSS的机器体系设计还有局限性,没有考虑到网络环境下的系统设计问题<sup>19</sup>。在网络环境下综合集成方法的实现,就更接近钱老提出的“从定性到定量综合集成研讨厅体系”<sup>19</sup>。目前由戴汝为院士主持的国家自然科学基金重大项目“支持宏观经济决策的人·机结合综合集成体系研究”,就是为了这个目标而进行的研究工作<sup>19</sup>。

综合集成方法论的提出到现在也不过10年多的时间,无论是方法论本身,还是它的应用,都取得了可喜的进展,但从长远来看,这些进展仅仅是开始<sup>19</sup>。方法论的创新,将孕育着伟大的科学革命<sup>19</sup>。培根创立的还原论方法,推动了19世纪到20世纪的科学大发展<sup>19</sup>。钱学森深谙西方科学哲学的精髓,又吸取中华民族古代哲学的营养,使他能够把还原论与整体论结合起来,并运用辩证唯物主义,创立了综合集成方法论,它必将推动21世纪系统科学的大发展<sup>19</sup>。

(下转第42页)

国存贷差已有 9174 亿元,造成国内资源的浪费<sup>19</sup>这种情况,以后仍会长期存在<sup>19</sup>因此,我们在大量吸收外资的同时,应进一步深化金融体制改革,加快国内金融市场的建立与完善,充分动员和鼓励国内储蓄的利用,拓宽融资渠道,确保国内资金得到合理配置<sup>19</sup>在国内资金得到充分、合理利用的基础上,进一步有效地利用外资<sup>19</sup>.

3) 优化引进外资结构<sup>19</sup>利用外资待业选择的根本手段,应使国内的经济环境有得于我们希望外资进入的部门,对一些投资期限较长,而目前利益率偏低的产业部门,专门可以运用税收、信贷等宏观经济手段提高该产业部门的投资回报率,提高外商对这一待业的投资兴趣<sup>19</sup>.在处理外资待业问题时,要具体问题具体分析,属于国内已有的待业和已经处于饱和状态行业应采取一定的鼓励措施;属于国内生产能力不足的行业或投资密度低行业,应给以一定的鼓励<sup>19</sup>引导外资投向的合理,必须制定不同的政策<sup>19</sup>对于中西部地区,由于其客观经济条件不能确保外资企业的平均利润,努力改善中西部地区的投资环境,发展及能源、交通等基础设施,以吸引更多的外资<sup>19</sup>.

4) 外资来源多元化,降低风险<sup>19</sup>我国外商直接投资的 80% 来自于亚洲国家和地区,欧洲与美国的资金仅占 15%—20%,亚洲金融危机使对我国投资较多的东南亚国家减少了对我国的投资幅度,甚至还出现了资金外逃现象,严重影响了我国利用外资的工作<sup>19</sup>.亚洲金融危机对我国的启示是,外商直接投资来源太集中于一个地区和一些国家是不利于引进外资的工作的,在今后的引资工作中,我们要把引资的重点从亚洲各国逐步转移到欧美等国<sup>19</sup>.

5) 加快改进外商投资管理体制,推动出台新的鼓励外商投资政策<sup>19</sup>.探讨采用风险投资、设立中外合资风险投资基金等新的投资方式,促进外商投资高新技术产业<sup>19</sup>.鼓励外国公司来华设立研发中心和地区总部<sup>19</sup>.建成一批以 IT 产业为代表的大型高新技术外资项目,使吸收外资结构有一个大的改善<sup>19</sup>.

## 参考文献:

- [1] Byeongseon Seo. Statistical Inference on Cointegration Roots in Error Correction Models with Stationary [M]. Covariates Journal of Econometrics, 1998, 85.
- [2] Engle R F, Granger C W J. Co-integration and error correction: resrepresentation, estimation and testing [M]. Econometrica, 1987, 251—276.

(上接第 7 页)

## 参考文献:

- [1] 王寿云,等. 钱学森[A]. 科学家传记大辞典编辑组. 中国现代科学家传记[C]. 北京:科学出版社, 1991.
- [2] 钱学森. 创建系统学[M]. 太原:山西科技出版社,2001.
- [3] Gallagher R, Appenzeller J. 超越还原论[A]. 戴汝为. 复杂性研究论文集[C], 1999.
- [4] Horgan J. 复杂性研究的发展趋势——从复杂性到困惑[J]. 科学美国人, 1995, 10:42—47.
- [5] 赵光武. 思维科学研究[M]. 北京:中国人民大学出版社, 1999.
- [6] 于景元,史若华,等. 财政补贴、价格、工资综合研究[R]. 航天工业部 710 所. 1984.
- [7] 于景元,戴汝为,冯珊,等. 综合集成的宏观经济智能决策支持系统[R]. 中国航天工业总公司 710 所、中国科学院自动化研究所、华中理工大学系统工程所, 1996.