

## 开放的复杂巨系统的方法论 ——从定性到定量综合集成方法

于景元 刘 毅 赵 军

(北京信息控制研究所, 100037)

**摘 要** 提出了一种新的系统分类方法,即简单系统和巨系统,介绍了解决复杂巨系统的方法论——从定性到定量综合集成方法,并描述了从定性到定量综合集成方法的发展动态——从定性到定量综合集成研讨厅体系思想,最后给出了一个应用实例。

**关键词** 复杂巨系统,从定性到定量综合集成方法,研讨厅体系

### 1 引 言

80 年代中期,“系统学讨论班”开始在北京信息控制研究所定期举办学术活动。时至今日,参加讨论班的人数已达数千人次,他们主要来自在京的中国科学院、社会科学院、高等院校(如北京大学、清华大学、北京师范大学、人民大学等)、国家机关和一些其它机构。在讨论班上,就与系统学有关的学科理论,如动力系统理论、混沌、现代控制理论、耗散结构理论、协同学、超循环理论、突变论、人工智能、模糊数学、医学、数量经济学、定量社会学、军事科学、地理科学等最新进展,进行了学术讨论。特别是在社会系统、地理系统、人体系统、军事系统四个复杂巨系统的提炼、概括和抽象的基础上,于 1989 年,著名学者钱学森提出了研究开放的复杂巨系统的方法论——从定性到定量综合集成方法(以下简称综合集成方法),之后又发展到“从定性到定量综合集成研讨厅体系”的思想。

### 2 开放的复杂巨系统

本世纪 40 年代,相继出现了以系统为研究和应用对象的新科学,如一般系统论、运筹学、控制论、信息论等以及系统工程技术。这些不同领域学科的发展和突破,都在不同程度上揭示了系统的性质与规律。

所谓系统是指由相互关联、相互制约、相互作用的部分所组成的具有某种功能的整体。客观世界存在着各种各样的具体系统,为了研究上的方便,按不同的原则可将系统划分为各种不同的类型。本文采用一种新的分类方法即根据系统复杂性的层次,对系统进行分类。

根据组成系统的子系统和子系统种类多少以及它们之间关联关系的复杂程度,可把系统分为简单系统和巨系统两大类。简单系统是指组成系统的子系统数量比较少,子系统种类也少,而且它们之间的关联关系又比较单纯,某些非生命系统,如一台测量仪器,就是简单系统。若系统的子系统数量非常庞大(成千上万、上亿、上百亿等),则称作巨系统。如果巨系统中子系统的种类不多(几种、几十种),且它们之间关联关系又比较简单,就称作简单巨系统,如激光系统。对简单巨系统,由于子系统数量非常多,应用处理简单系统的方法来处理就不行,就连巨型机也不够用,直接综合方法不行,人们就想到了统计力学。于是出现了 L. Prigogine 的耗散结

构理论和 H. Haken 的协同学。

在巨系统中,如果子系统的种类繁多(成百上千等),并有层次结构,它们之间关联关系又很复杂,这就是复杂巨系统。由于这些系统和环境有物质、能量和信息的交换,所以称作开放的复杂巨系统。如生物体系统、人脑系统、人体系统、地理系统(包括生态系统)、社会系统、星系系统等。其中以有意识活动的人作为子系统而构成的社会系统最为复杂,因而又称作特殊复杂巨系统。这些系统无论在结构、功能、行为和演化、进化方面都非常复杂,以至于到今天还有大量的问题并不清楚,需要进行探索。如人脑系统,这的输入—输出反应特性极为复杂。人脑可以利用过去的信息(记忆)和未来的信息(推理)以及当时的输入信息和环境作用,作出各种复杂反应。从时间角度看,这种反应可以是实时反应、滞后反应甚至是超前反应;从反应类型上看,可能是真反应,也可能是虚假反应,甚至没有反应。所以人的行为并不是简单的“条件反射”。

复杂巨系统在时间、空间以及功能上都存在着层次结构,有些层次是我们已经认识得比较清楚的子系统到我们可以宏观观测的整个系统之间的结构层次;有些从可观测的整体系统到子系统,由于层次非常多,中间的层次又不清晰,甚至有的几个层次都不知道,即使各个层次都清楚了,整个系统功能也不等于各个子系统功能的简单相加。这些特点,正是开放的复杂巨系统的复杂性所在。

从上述介绍可以看出,开放的复杂巨系统涉及到生物学、思维科学、医学、地学、天文学和社会科学等学科理论。这些理论本来分布在不同的学科甚至不同的科学技术部门,而且均已有了较长的历史,过去也都或多或少地用本学科的语言涉及到开放的复杂巨系统这一思想,但现在却都能概括在开放的复杂巨系统这一概念之中,而且更加清晰、更加深刻了。这个事实启发我们,对开放的复杂巨系统研究,不仅推动这些不同学科理论的发展,而且还为我们沟通这些理论开辟了新的途径。

从上面的讨论可以看出,对简单系统、简单巨系统都已有了相应的研究方法。那么很自然地会提出研究开放的复杂巨系统的方法论问题。这就是我们在下面将要讨论的从定性到定量综合集成方法。

### 3 从定性到定量综合集成方法

从定性到定量综合集成方法是基于以下四个复杂巨系统的研究进展提出的:

- 1) 在社会系统中,由几百个或上千个变量描述的、定性定量相结合的系统工程技术,对社会经济系统的研究和应用;
- 2) 在地理系统中,用生态系统、环境保护以及区域规划等综合探讨地理系统的研究和应用;
- 3) 在人体系统中,把生理学、心理学、西医学和传统医学等综合起来的研究;
- 4) 在军事系统中,军事对阵系统和现代作战模拟的研究。

在这些研究中,通常是科学理论、经验知识和专家判断力(专家的智慧 and 创造力)相结合,形成和提出经验性假设(判断、猜想)。在自然科学中,这类经验性假设,是用严密的逻辑推理、精确的物理、化学、生物实验来证明这些判断、猜想的正确与否。但在复杂巨系统中,这些经验性假设不能完全用这样的科学方式加以证明,否则也就不是复杂巨系统问题了。另一方面,通过定量研究进行精密论证,又使我们不能满足于一般的定性描述和思辨方法,尽管这种定性研究也是需要的和重要的。那么出路在哪里呢?现代计算机技术以及基于计算机的知识工程、专

家系统、人工智能和信息技术等的进展,为我们开辟了新的途径,这个途径就是人、机结合,实现人机互寂直到人、机融合。我们可以根据系统的观测资料(统计数据和各种信息资料),建立起包括大量参数的模型(充分利用现代数学工具和各种建模方法),而这些模型也必须建立在对系统的实际理解和经验上,以保证模型的合理性和精度要求,经过计算机仿真、实验和计算,获得定量的结果。同时充分利用知识工程、专家系统等人工智能技术、信息技术等,实现以人(专家体系)为主,人、机结合的知识综合集成。这里包括了科学的经验知识、定性的和定量的知识、理性的和感性的知识,通过人、机交互、反复对比逐次逼近,实现从感性到理性、由定性到定量的转化,达到定量认识,从而对经验性假设的正确与否作出明确结论,这样的结论就是现阶段对客观事物认识的科学结论。

这个方法的实质是专家体系、统计数据和信息资料、计算机技术三者的有机结合,构成一个以人为主的高度智能化的人机结合系统。它具有综合集成各种知识,实现从定性到定量认识的功能,这是一种系统方法。这个方法的成功应用,就在于发挥系统的整体优势,综合优势和智能优势。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,称之为“集大成”,所以钱学森把这个方法称之为“大成智慧工程”(Metasynthetic Engineering)。这个方法具有以下特点:

1) 把定性研究和定量研究有机结合起来,并贯穿全过程,从多方面的定性认识上升到定量认识。

2) 能把不同层次的知识(科学理论和经验知识)综合集成起来。

3) 能把多种学科结合起来进行研究,把多个领域的科学知识进行综合集成,取得一加一大于二的效果,而不是一加一等于二的“拼盘”。

4) 根据复杂系统的层次结构,把宏观研究和微观研究统一起来。

5) 应用这个方法必须有计算机系统的支持,这个计算机不仅具有管理信息系统、决策支持系统的功能,更重要的是具有知识综合集成功能,这就要充分利用人工智能、信息技术等高新技术。

6) 这个方法的应用,需要复杂巨系统的观测和统计数据,从指标体系的建立到基础数据采集、存储、传输都是必要和基本的信息基础。

7) 这个方法要求专家按群体方式工作,改变了传统科学研究中的个体工作方式。

从思维科学角度看,这个方法论证了辨识思维和社会思维。通过上述还可以看出:

1) 这个方法保持和发扬了自然科学定量研究方法论的长处。当今,即使象数学这类非常严密的科学,也开始用人机结合方式进行研究,如吴文俊先生的定理机器证明就是这方面开创性的工作。另一方面,这个方法对社会科学来说,也能弥补其定量研究的不足,从而使社会科学从描述科学逐步走向定量科学。

2) 综合集成方法不是否定还原论方法,而是要吸收它的长处。应用这个方法时也要求系统分解,但这是在系统总体指导下的分解,在分解后研究的基础上,再综合集成到系统整体,实现一加一大于二的飞跃。所以它适用于有多层次问题的研究,这就弥补了还原论方法的不足。

3) 这个方法也不同于一般系统论方法。一般系统论方法强调系统整体是对的,但只是泛泛而论,一下上升到哲学高度,解决不了问题。而综合集成方法则是按一定科学方式和程序进行操作,并从整体上研究和解决问题。综合集成方法吸收了整体论和还原论的优点而形成的方法论,是还原论和整体论的结合。

#### 4 从定性到定量综合集成研讨厅体系

1992年,在汇总和升华了下列成功的经验基础上,讨论班上又提出了“从定性到定量综合集成研讨厅体系”:

- 1) 几十年来世界学术讨论的经验。
- 2) 从定性到定量综合集成方法。
- 3) C3I及作战模拟。
- 4) 情报信息技术。
- 5) 人工智能。
- 6) 灵境。
- 7) 人机结合智能系统。
- 8) 系统学。
- 9) 第五次产业革命中的其它技术。

这个研讨厅体系由三个部分组成:以计算机为核心的现代高新技术成果的集成和融合所构成的机器体系、专家体系和知识体系。专家体系和机器体系是知识体系的载体。这三个体系构成了高度智能化的人—机结合体系,它不仅具有知识和信息采集、存储、传递、调用、分析与综合的功能,更重要的是具有产生新知识的功能,是知识的生产系统,既可用来研究理论问题,又可用来解决实践问题。

开放的复杂巨系统目前还没有相应的理论,但有了上述的方法论,就可以逐步建立起开放的复杂巨系统理论。一旦这个理论建立起来,必将推动科学技术的迅速发展。

开放的复杂巨系统方法论,对系统科学体系中的技术科学也将起到推动作用。以控制论为例,在维纳的控制论之后,出现的工程控制论、生物控制论、经济控制论、社会控制论等,只有工程控制论有了实质性的进展,有方法有理论,对指导工程实践发挥了作用,其所建立起来的理论方向,后来也成为现代控制理论的重要方向。相比之下,生物控制论、经济控制论、社会控制论没有取得象工程控制论、现代控制论那样的进展,原因在哪里呢?现在看来,生物控制论、经济控制论、社会控制论的研究对象都是复杂巨系统,研究和控制这类系统,完全靠已有的方法遇到了困难,需要有新的方法论。从综合集成方法的特点来看,它是可以用来研究这些系统的控制问题,从而推动生物控制论、经济控制论和社会控制论的发展,这也体现了系统学对控制论的推动作用。

#### 5 从定性到定量综合集成方法应用范例——综合集成的宏观经济决策支持系统

中国正在由社会主义计划经济体制向社会主义市场经济体制过渡,以市场手段实现资源配置的经济运行体制正在逐渐形成,经济形式和产业结构变化均以超常的速度和多变的姿态呈现出来。国务院政策研究室基于实际工作的需要,迫切需要一套能进行国家宏观经济形势分析、评价、规划以及对制定的宏观经济政策进行模拟分析,对国务院领导决策起到辅助支持作用的工具。受国务院政策研究室的委托,在国家科委、国家“863”智能计算机专家组的支持下,由BIIC、中科院自动化所、华中理工大学三方组成“综合集成的宏观人—机智能决策支持系统(MSMEIDSS)”课题组。经过三年的研制,开发了模型体系、知识开发环境、评价系统、张量处理器、可视建模、仿真决策集成环境和综合信息管理子系统,并将这些软件有机地结合在一起,

形成了一个完整的、实用的、功能齐全的软件工具系统。它们支持的由模型体系、知识体系、信息和方法构成的统一体可将决策者、专家和系统工程研究人员构成的专家群体有机地结合起来,由此实现了基于知识的、人一机结合的、具有综合集成特点的智能决策支持系统。该系统通过了国家级技术鉴定,被评价为具有国内领先水平并在设计思想方面具有国际先进水平。

MSMEIDSS 将实现宏观经济的预测、规划、监测和评价作为最基本的功能。同时,作为经济决策支持系统,对一些特定经济问题,如能货膨胀、投资过热、养老保险、居民收入等专题问题,都能灵活地进行建模和仿真。在系统的设计上,以“从定性到定量综合集成方法”为理论基础,将经济系统的定性与定量描述有机地结合起来为决策服务。系统的结构有三个层次组成:第一层是由决策者、领域专家、系统工程研究人员组成的专家群体。他们的任务是提出问题,根据经济系统的实际运行,将有关的定性知识输入计算机,并建立经济模型,设计模型的仿真环境等。第二层由模型、知识、信息和方法构成,它们是直接为专家群体服务的对象。第三层是支持模型、知识、信息和方法的软件工具系统。

MSMEIDSS 成功地运用“从定性到定量综合集成方法”,解决了经济系统这类开放的复杂巨系统的一些复杂性问题。随着“从定性到定量综合集成方法”理论的发展、“研讨厅体系”实践的不断深入而不断发展。

### 参 考 文 献

- 1 钱学森,于景元,戴汝为. 一个科学的新领域——开放的复杂巨系统及其方法论. 自然杂志,1990,13(1)
- 2 于景元. 关于软科学研究的思考. 软科学研究动态,1992,35—36
- 3 于景元,钱学森. 关于开放的复杂巨系统的研究. 系统工程理论和实践,1992,5—12
- 4 于景元,王寿云,汪成为. 社会主义建设的理论和系统工程. 科技日报,1991
- 5 综合集成的智能宏观经济决策支持系统项目报告书. 1996