

文章编号:1000-6788(2002)10-0026-07

从定性到定量综合集成方法的实现和应用

于景元, 周晓纪
(中国航天科技集团公司 710 所, 北京 100037)

摘要: 讨论了综合集成方法、方法体系、实践形式及其运用和应用。
关键词: 综合集成方法; 研讨厅体系
中图分类号: N94 **文献标识码:** A

The Realization and Application of Meta-synthesis

YU Jing-yuan, ZHOU Xiao-ji
(Beijing Institute of Information and Control, Beijing 100037, China)

Abstract: This paper discusses the methodology, method system of Meta-synthesis, Hall for Workshop of Metasynthetic Engineering, and its application fields.
Key words: meta-synthesis; hall for workshop of metasynthetic engineering

20 世纪 80 年代末至 90 年代初,钱学森先后提出“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”(以下简称综合集成方法)以来^[1],对综合集成方法及其应用的研究,已经取得了可喜的进展,特别是国家自然科学基金管理科学部和信息科学部联合资助的“支持宏观经济决策的人、机结合综合集成体系研究”的重大项目,对综合集成方法的实现与应用以及相关的理论和支撑技术,都进行了系统研究,取得了许多成果¹⁹。

本文的目的是结合重大项目的研究进展,从科学方法论角度对综合集成方法的实现和应用,进行一些讨论,以利于这个方法的实际运用和应用¹⁹。

1 方法论和方法

我们首先区分一下方法论(Methodology)和方法(Methods),这是两个不同层次的问题¹⁹。科学方法论属于思维科学,它是关于研究客观事物所应遵循的途径和路线,按照这个途径研究下去,能使我们达到对所研究问题的科学认识¹⁹。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,以至形成方法体系¹⁹。如果方法论不对,具体方法再好,也解决不了根本问题¹⁹。当然,再好的方法论没有具体方法的支撑,这个方法论也解决不了什么问题,两者是相辅相成的¹⁹。

从近代科学到现代科学,培根式的还原论方法发挥了重要作用,在自然科学中取得了巨大成功¹⁹。它所遵循的途径是把事物分解成局部或低层次事物来研究,以为低层次或局部问题弄清楚了,高层次或整体问题也就清楚了¹⁹。如果低层次或局部问题仍弄不清楚,还可以继续分解下去,直到把整个问题弄清楚为止¹⁹。物理学按照这个途径的发展已经到了夸克层次,生物学的研究也到了基因层次¹⁹。这些成就的取得,也表明了还原论方法在科学技术发展中的重要作用以及它的有效性¹⁹。但随着科学技术的发展,“还原论的不足之处正日益明显”^[2]¹⁹。正如李政道先生指出的那样,“总结 20 世纪物理学的发展,可以简单地说,它着重简化、归纳¹⁹。另外,我们相信找到了最基本的粒子,就会了解大物质的构造,这个方向使我们获得很大成功¹⁹。可是,到 20 世纪中叶,我们发现不是光知道基本粒子就能完全了解整个宇宙的大问题¹⁹。……我猜想 21 世纪的方

向要整体统一,微观的基本粒子要和宏观的真空构造,大型的量子态都结合起来,这些很可能是 21 世纪的研究目标”^[3] 19.美国圣菲研究所关于复杂性研究,也是基于对还原论方法的反思而提出来的^[4] 19.

其实对还原论方法的局限性,认识得比较早的科学家是彼塔朗菲,他是位理论生物学家 19.20 世纪 30 年代,当生物学研究已经到了分子层次,出现了分子生物学时,用他的话来说,他对生物整体的认识反而模糊了 19.这使他转向整体论并提出了一般系统论方法,即整体论方法 19.但限于当时的科学技术水平,他没能解决整体论方法的具体问题,还是定性描述和概念阐发居多,就整体论整体,深入不下去,解决不了问题 19.但整体论方法作为科学方法论是很重要的,而且对系统科学的发展起到了重要的推动作用 19.

20 世纪 70 年代末,钱学森提出把还原论方法和整体论方法结合起来,即系统论方法 19.经过 10 多年的研究和发展,特别是“系统学讨论班”的反复讨论,钱学森把系统论方法的一般原则终于具体化了,形成了我们上边谈到的综合集成方法 19.

在运用这个方法时,也需要将系统分解,在分解后研究的基础上再综合集成到系统整体,实现 $1+1>2$ 的飞跃,达到从整体上研究和解决问题的目的 19.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,既超越了还原论方法,又发展了整体论方法,这正是系统论方法的优势所在,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 19.

还原论方法、整体论方法、系统论方法即综合集成方法,都属于方法论层次,但又各具特色,各有不同 19.还原论方法采取了从上而下,由整体到部分的研究途径,整体论方法是不分解的,从整体到整体 19.而综合集成方法既从整体到部分由上而下,又自下而上由部分到整体 19.正是研究路线上的不同,使它们研究和认识客观事物的结果也各不相同 19.形象地说,可表示如下:

- 整体论方法: $1+0=1$
- 还原论方法: $1+1\leq 2$
- 系统论方法: $1+1>2$

综合集成方法的提出,也得益于以计算为主的现代信息技术的发展 19.综合集成方法的实质是把专家体系、数据与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、机结合系统 19.这个方法的成功应用,就在于发挥这个系统的综合优势、整体优势和智能优势 19.它比单纯靠人(专家体系)有优势,比机器体系更有优势 19.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 19.综合集成方法的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,哲学基础是马克思主义的实践论和认识论^[5] 19.

综合集成方法是研究复杂系统和复杂巨系统(包括社会系统)的方法论 19.在应用中,将这套方法结合到具体的复杂系统或复杂巨系统,便可以开发出一套方法体系,不同的复杂系统或复杂巨系统,方法体系可能是不同的,但方法论却是同一的 19.如同物理学有物理学方法,生物学有生物学方法,但方法论是同一的,即还原论方法 19.从方法论层次来看,综合集成方法对复杂系统或复杂巨系统研究的指导作用主要体现在以下几个方面^[5]:

1. 研究路线 19.综合集成方法采取了从上而下和由下而上的研究

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 19.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,在对每个子课题仔细研究的基础上,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”至多是 $1+1=2$ 的效果,不会涌现出新思想、新结果的,也回答不了整体问题 19.这里需要的是综合集成,实现 $1+1>2$ 的飞跃 19.否则,我们就会自觉不自觉地陷入了还原论方法 19.

2. 技术路线 19.综合集成方法采取的是人、机结合,人、网结合

以人为为主的技术路线 19.这个技术路线是以思维科学为基础的 19.从思维科学角度来看,人脑和计算机都能有效处理信息,但两者有极大的差别 19.从信息处理来看,人脑思维一种是逻辑思维(抽象思维),它是定量、微观的信息处理方法;另一种是形象思维,它是定性、宏观的处理信息方式,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,也就是定性定量相结合,宏观与微观相结合,它是人脑创造性的源泉 19.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,善于信息的精确处理 19.已有许多科学成就证明了这一点,如著名数学家吴文俊先生的定理机器证明 19.但在形象思维方面,现在的计算机还不能给我们以任何帮助,至于创造思维只能依靠人脑了 19.从这个角度来看,期望完全依靠机器来解决复杂系统或复杂巨系统问题,至少目前是行不通的 19.但计算机毕竟在逻辑思维方面有其优

势,如果把人脑和机器结合起来,以人为主,就更有优势,人将变得更加聪明¹⁹人和计算机各有所长、相辅相成、和谐地工作在一起形成“人帮机、机帮人”的合作方式¹⁹这种人、机结合的思维方式和研究方式就具有更强的创造性和认识客观事物的能力¹⁹。

3. 实现信息、知识和智慧的综合集成

人、机结合,人、网结合以人为主,实现信息、知识和智慧的综合集成¹⁹。信息、知识和智慧这是三个不同层次的问题¹⁹。有了信息未必有知识,有了信息和知识也未必就有智慧¹⁹。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¹⁹。人类有史以来,是通过人脑获得知识和智慧的¹⁹。现在由于计算机科学与技术的发展,我们可以通过人、机结合,人、网结合的方式来获得知识和智慧,在人类发展史上,这是具有重大意义的进步¹⁹。综合集成方法就是这种人、机结合,人、网结合获得知识和智慧的方法¹⁹。

如同一切研究工作一样,无论是复杂系统、复杂巨系统的理论研究还是应用研究,通常是已有的科学理论、经验知识和专家判断力(专家的知识、智慧和创造力)相结合,对所研究的问题提出和形成经验性假设,如猜想、判断、思路、对策、方案等等,这种经验性假设一般是定性的¹⁹。它所以是经验性假设,是因为其正确与否、能否成立还没有用严谨的科学方式加以证明¹⁹。在自然科学和数学中,这类经验性假设是用严密的逻辑推理和各种实验手段来证明其正确与否,这一过程体现了从定性到定量的特点,所以这些学问被称为“精密科学”¹⁹。但对复杂系统或复杂巨系统来说,由于其跨学科、跨领域的特点,对所研究的复杂性问题能提出经验性假设,通常不是一个专家,甚至也不是一个领域的专家们所能提出来的,而是由不同领域、不同学科专家构成的专家体系,依靠群体的知识和智慧,对所研究的复杂系统和复杂巨系统问题提出经验性假设与判断¹⁹。但要证明其正确与否,仅靠自然科学中所用到的各种方法,就显得力所不及了¹⁹。如社会系统、地理系统中的问题,既不是简单地逻辑推理,也不能进行实验¹⁹。但我们对经验性假设又不能只停留在思辨和定性描述上,这是社会科学、人文科学中常用的方法,这些学问被称为“描述科学”¹⁹。系统科学是要走“精密科学”之路的,那么出路在哪里?这就是人、机结合以人为主的研究方式¹⁹。机器能做的尽量由机器去完成,极大扩展人脑逻辑思维处理信息的能力¹⁹。自然也包括了各种能用的数学方法和工具¹⁹。通过人、机结合以人为主,实现信息、知识和智慧的综合集成¹⁹。这里包括了不同领域的科学理论和经验知识、定性知识和定量知识、理性知识和感性知识,通过人机交互、反复比较、逐次逼近,实现从定性到定量的认识,从而对经验性假设的正确与否作出明确结论,无论是肯定还是否定了经验性假设,都是认识上的进步,然后还可提出新的经验性假设,继续进行定量研究¹⁹。

2 研讨厅和研讨厅体系

钱学森提出,“从定性到定量综合集成研讨厅”和“从定性到定量综合集成研讨厅体系”(以下简称研讨厅和研讨厅体系)是实现综合集成方法的实践形式,并把运用这套方法的集体,称为总体设计部¹⁹。它是将有关的理论、方法与技术集成起来,构成一个供专家群体研讨问题时的工作平台¹⁹。不同的复杂系统或复杂巨系统,研讨厅的内容可能是不同的,即使同一个复杂系统或复杂巨系统,由于研讨问题的类型不一样而有不同的研讨厅,如研究社会系统中的各类问题¹⁹。当把这套方法用于国家各个层次的决策支持时,中央、地方和各部门都可能有自己的研讨厅和总体设计部,由于信息网络的出现和发展,可以用信息网络把这些分布式的研讨厅联系起来,这就形成了研讨厅体系,不仅信息交流快捷而方便,而且网上资源丰富并得以共享¹⁹。这样的研讨厅体系,实际上是人、机结合,人、网结合的信息处理系统、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¹⁹。

钱老还指出过构建这样的研讨厅、研讨厅体系所用到的有关理论、方法、技术和研讨方式:1)几十年来世界学术讨论的 Seminar 经验;2) C³I 及作战模拟;3) 从定性到定量综合集成方法;4) 情报信息技术;5) 人工智能;6) “灵境”(人工虚拟现实,VR);7) 人、机结合智能系统;8) 系统学;9) 第五次产业革命中(即信息革命)涌现出来的新技术……¹⁹。

研讨厅和研讨厅体系从结构上看,由以下几个部分构成:

1. 专家体系

复杂系统或复杂巨系统的研究通常是跨学科、跨领域的交叉性和综合性研究¹⁹。需要由不同学科、不同领域的专家组成专家体系,这个专家体系具有研究复杂系统或复杂巨系统所需要的合理知识结构¹⁹。在实际应用中,专家体系还要考虑到部门结构、年龄结构等问题¹⁹。

人、机结合以人为主,这个人就是指专家体系¹⁹。因此,专家体系的整体水平和素质对研讨问题是非常重

要的¹⁹。由于研究的复杂系统或复杂巨系统不同,专家体系的结构也不一样,因此专家体系的结构是动态变化的¹⁹。

2. 机器体系

以计算机软、硬件和网络等现代信息技术的集成与融合所构成的机器体系,是研讨厅的重要组成部分¹⁹。从总体上来说,机器体系结构与功能的设计应结合所要研究的复杂系统或复杂巨系统的实际,以综合集成的思想和方法为指导来进行系统设计¹⁹。在网络环境下,研讨厅是个开放系统,机器体系以及与其联网的网上资源是支持复杂系统或复杂巨系统研讨所需要的各种资源基础¹⁹。如数据和信息资源、知识资源、模型体系、方法与算法体系等¹⁹。特别是,在人、机交互过程中,机器体系应具有更强的动态支持能力,如实时建模和模型集成¹⁹。这样的机器体系和专家体系结合起来,形成“人帮机、机帮人”的和谐工作状态¹⁹。这也是研讨厅不同于一般的 MIS 和 DSS 的一个重要特点¹⁹。

人工虚拟现实技术的运用,就不仅是人、机结合,而是人、机融合,这就大大增强了机器体系的功能¹⁹。美国人开发的“Mission Planning System”,具有强大的仿真能力,曾成功地用于波黑三方谈判,其中就应用了人工虚拟现实技术^[6]¹⁹。

还应该强调的是,机器体系不仅是开放系统,同时也是个动态发展和进化的系统¹⁹。随着以计算机为主的现代信息技术的迅速发展,许多涌现出来的高新技术,将不断地集成到机器体系之中,使得机器体系结构不断进化,功能不断加强,人、机交互能力也越来越强¹⁹。

3. 知识体系

研讨厅是人、机结合的知识生产系统¹⁹。知识扩大再生产所用到的知识资源就是人类知识体系¹⁹。就整体而言,人类知识体系是由前科学、科学、哲学三个层次的知识构成的,前科学主要指经验知识、感性知识¹⁹。科学知识现在已发展成为现代科学技术体系,由应用技术、技术科学、基础科学三个层次和 11 大科学技术部门所构成^[7]¹⁹。哲学不仅是知识,还是智慧,特别是马克思主义哲学是人类知识的最高概括,也是人类智慧的最高结晶¹⁹。这是人类长期社会实践所获得的宝贵知识资源,而且这个体系是不断发展的¹⁹。

一个研讨厅所存储的知识资源可能是直接与所研究的复杂系统有关的那部分知识,其它知识如需要可通过网络方式从网上获取¹⁹。专家体系和机器体系是知识体系的载体¹⁹。

3 综合集成方法的运用

应用综合集成方法研究和解决复杂系统或复杂巨系统问题时,它的研究方式、工作方式都不同于传统的个体研究方式和工作方式¹⁹。它是专家群体和机器体系结合起来的研究方式和工作方式,这就需要有相应的体制和机制、组织与管理¹⁹。钱学森提出的总体设计部,实际上就包括了这些内容¹⁹。总体设计部的实践已在工程系统中被证明是非常有效的,如航天工程系统¹⁹。但研究和解决复杂系统或复杂巨系统问题的总体设计部,无论其内涵和外延都与工程系统总体设计部有很大不同,有了实质性的发展¹⁹。关于这类问题,我们将另行讨论¹⁹。

下面,我们就应用综合集成方法研究和解决复杂系统和复杂巨系统问题进行一些讨论¹⁹。

从实践论观点来看,人类认识客观事物总是遵循着从实践到理论、从感性和经验到理性和科学,对“精密科学”来说,还要从定性到定量这样的认识路线¹⁹。综合集成方法就是遵循这个认识路线认识客观事物的方法¹⁹。具体来说,综合集成方法包括以下内容和过程:

1. 定性综合集成

综合集成方法是面向问题的,既可以是理论问题,也可以是应用问题¹⁹。无论是哪类问题,对复杂系统或复杂巨系统能提出问题、形成经验性假设,正如前面所述,通常不是一个专家或一个领域专家群体所能提出的,它需要不同学科、不同领域专家构成的专家体系深入研究、反复研讨、逐步形成共识¹⁹。专家体系中的每个专家都有自己掌握的科学理论、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系统或复杂巨系统问题¹⁹。把这些专家们的科学理论、经验知识、以至专家智慧,通过结合、磨合和融合,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复杂系统或复杂巨系统的同一问题,就会获得全面认识¹⁹。这个过程体现了不同学科、不同领域知识的交叉研究,相互启发与激活,是一种社会思维方式¹⁹。系统本身就把多种学科知识用系统方法联系起来,统一在系统整体框架内,把原来切断了的知识之间关系联系起来,明确系统结构、系统环境和系统功能¹⁹。通过这种方法,例如 Seminar 的方式,对所研究的问题形成定性判断、提出经验性假设,如猜想、思路、设想、对策、方案……等,这些通常是

定性的¹⁹它所以是经验性假设与判断,是因为其正确与否还没有经过严谨科学方式加以证明¹⁹专家体系经过研讨所形成的问题和经验性假设与判断也可能不止一种,可能有几种,在这种情况下,就更需要精密论证¹⁹即使是一种共识,它仍然是经验性的,还不是科学结论,仍需要精密论证¹⁹。

这一步是很重要的,许多原始创新思想都从这里产生¹⁹正如科学大师爱因斯坦所说“提出一个问题往往比解决一个问题更为重要,因为解决一个问题也许是一个数学上或实验上的技巧问题¹⁹而提出新的问题、新的可能性,从新的角度看旧的问题,却需要创造性的想象力,而且标志着科学的真正进步”¹⁹从思维科学角度来看,这个过程以形象思维为主,是信息、知识、智慧的定性综合集成¹⁹这个经验性假设与判断,只能由专家体系提出,机器体系是提不出来的¹⁹但是,机器体系可以帮助专家体系去提出,这里也需要人、机结合¹⁹。

Seminar 的经验之一,就是充分发扬学术民主,在科学面前人人平等,敢于坚持真理,也勇于修正错误,这是每一个专家应该具备的科学态度和科学精神¹⁹。

2. 定性定量相结合综合集成

定性综合集成所形成的问题和提出的经验性假设与定性判断,已纳入到系统框架之内,为了用严谨的科学方式去证明或验证经验性判断的正确与否,我们需要把定性描述上升到系统整体的定量描述¹⁹这种定量描述可以用指标体系,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,或者其它的数量关系……等等¹⁹实现这一步的关键是定性定量相结合综合集成¹⁹专家体系利用机器体系的丰富资源和它定量处理信息的强大能力,通过建模、仿真和实验等方式来完成这一步¹⁹。

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¹⁹这种方式在自然科学、系统科学中被广泛使用¹⁹在系统科学中,对简单系统、简单巨系统等研究,几乎完全是基于数学模型的,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,目前还有很大困难¹⁹一方面需要发展新的数学理论,另一方面也需要新的建模方法¹⁹计算机技术、软件技术、知识工程、人工智能、算法等的发展,使基于规则的计算机建模得到了迅速发展¹⁹这类计算机模型所能描述的系统更广泛,也更为逼真¹⁹在这方面,美国圣菲研究所(SFI)和国际应用系统分析研究所(IIASA)的一些工作是值得我们重视和借鉴的¹⁹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,其逼近的程度取决于所要研究问题的精度要求¹⁹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研究我们想要研究的问题¹⁹不同的系统,其模型精度要求是不一样的,例如人口系统的模型精度要求在千分之一左右,经济系统是百分之三左右¹⁹。

复杂系统,特别是复杂巨系统的建模,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¹⁹同时还要紧密结合系统实际,基于对系统的真实理解¹⁹建模过程是个科学与经验相结合的过程¹⁹。

在机器体系支持下,根据数据和信息体系、指标体系、模型体系和具体方法体系,专家们对定性综合集成提出的经验性假设与判断进行系统仿真与实验¹⁹从系统环境、系统结构和系统功能之间的输入-输出关系,进行系统分析与综合¹⁹这就相当于用系统实验来证明和验证经验性假设与判断的正确与否¹⁹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¹⁹这样的仿真实验有时比实体实验更有优越性¹⁹例如系统未来发展趋势预测,对系统实体来讲,是不能预测的,因为它还没有运动到那个时刻,但在计算机仿真实验中却是可以的¹⁹。

通过系统仿真与实验,对经验性假设与判断给出整体的定量描述,如用评价指标体系等,这就增加了新的信息,而且是定量的信息¹⁹。

这个过程可能要反复多次,以便把专家的经验,他们所能想到的各种因素都能反映到系统仿真和实验之中,从而观测到可能的定量结果,增强对问题的定量认识¹⁹。

3. 从定性到定量综合集成

定性综合集成形成问题的经验性假设与判断的定性描述,经过定性定量相结合综合集成获得定量描述¹⁹专家体系再一次进行综合集成,在这一次综合集成中,由于有了新的定量信息,经过研讨,专家们有可能从定量描述中,获得证明或验证经验性假设和判断正确的定量结论,如果是这样,也就完成了从定性到定量综合集成¹⁹但这个过程通常不是一次能完成的,往往要反复多次¹⁹如果定量描述还不足以支持证明和验证经验性假设和判断的正确性,专家们会提出新的修正意见和实验方案,再重复以上过程¹⁹这时专家们的经验、知识和智慧已融进到新的建议和方案之中¹⁹通过人、机交互、反复比较、逐次逼近,直到专家们能

定量描述中证明和验证了经验性假设和判断的正确性,获得了满意的定量结论,这个过程也就结束了¹⁹。这时的结论已从定性上升到了定量,不再是经验性假设和判断,而是经过严谨论证的科学结论,这个结论就是现阶段我们对客观事物的科学认识¹⁹。如果定量描述否定了原来的经验性假设和判断,那也是一种新的认识,又会提出新的经验性假设和判断,再重复上述过程¹⁹。综合以上所述,从定性综合集成提出经验性假设和判断的定性描述,到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定量的科学结论,这就实现了从经验性的定性认识上升到科学的定量认识¹⁹。这一过程可用图 1 表示¹⁹。

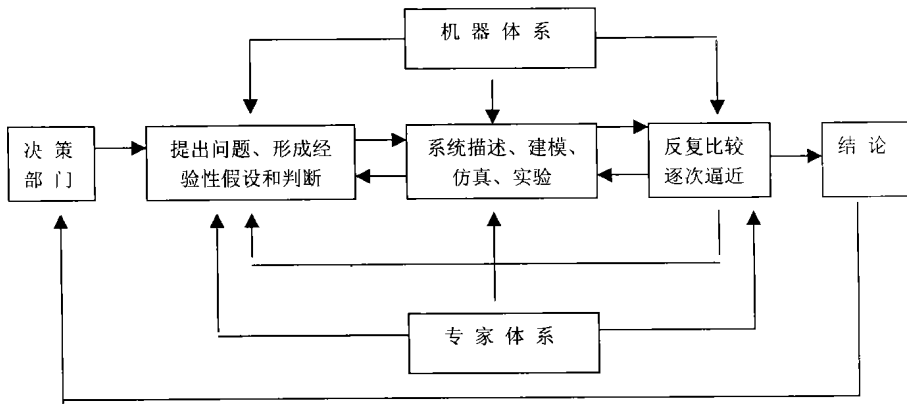


图 1

正如钱学森所指出的那样,“当你定量解决了很多很多问题,譬如说关于国民经济中的许多问题以后,你有一个概括的提高了的认识了,这又是从定量上升到定性了¹⁹。自然,这个定性应该是更高层次的定性认识了¹⁹。因此定性和定量的关系,是认识过程的一个描述,循环往复,永远如此”^[1]¹⁹。基于新的定性认识又会提出新的经验性假设和判断,再应用综合集成方法又会获得新的定量认识,这个过程永远不会完结,使我们对客观事物的认识越来越深刻,知识也越来越丰富¹⁹。

从计算机科学角度来看,我们所要处理的复杂系统或复杂巨系统问题,都是非结构化问题,但目前计算机只能处理结构化问题¹⁹。从上述综合集成过程来看,虽然每循环一次都是结构化处理,但其中已融进了专家体系的科学理论、经验知识和智慧,如调整模型、修正参数等¹⁹。实际上,综合集成过程,我们是用了一个结构化序列去逼近一个非结构化问题,逼近到专家们都认为可信和满意为止,这也体现了以人为本,而不是靠机器体系去判断,当然机器体系可以协助专家体系去判断¹⁹。

综合集成过程可以在线工作,也可以离线工作¹⁹。在线工作时,对机器体系功能要求更高,它远不是 MIS 和 DSS 所能满足的¹⁹。

还应强调一点,应用这个方法需要有数据和信息体系支持,这就为复杂系统或复杂巨系统的统计指标设计和系统观测方式,提出了新的要求¹⁹。以社会系统为例,有些社会系统问题用这个方法处理起来困难,往往不是方法的问题,而是缺少统计数据支持,机器体系也不会有这部分资源¹⁹。我国的统计指标,只有经济方面的统计指标比较多,其它方面的统计指标很少,有些还没有统计指标,更没有统计数据¹⁹。

4 综合集成方法的应用

现代科学技术的发展呈现出既高度分化又高度综合的两种明显趋势¹⁹。一方面是学科不断分化,越分越细,新学科、新领域不断产生;另一方面是不同学科、不同领域之间相互交叉、结合与融合,向着综合化和整体化的方向发展¹⁹。这两种趋势相辅相成、相互促进,从而推动现代科学技术的发展¹⁹。

在前一发展趋势中,还原论方法发挥了重要作用,特别是基于还原论的定量方法,使自然科学取得了巨大成就¹⁹。今后,还原论方法还将继续发挥它在人类认识客观世界方面的重要使用¹⁹。但这后一发展趋势,需要新的方法论和方法,这正是科学家们在探索和研究的问题,也相继提出过一些方法和方法论¹⁹。从综合集成方法的特点来看,它可以在这个研究方向上发挥作用¹⁹。在我国随着这后一发展趋势的出现和发展,先后涌现出系统科学、软科学、管理科学、复杂性科学等¹⁹。从方法论和方法上来看,综合集成方法可以为这些学科的发展提供方法论和方法的支持¹⁹。

1. 对系统科学来说,综合集成方法本来就是从处理复杂巨系统中提出和发展起来的,是系统科学的重要组成部分¹⁹。它对系统科学中的技术科学,如控制论、运筹学和信息论等的发展提供了新的方法¹⁹。以控

制论为例,只有工程控制论得到了实质性发展,而生物控制论、经济控制论、社会控制论等并没有真正发展起来,其原因是这些控制论学科所研究的受控对象都是复杂系统或复杂巨系统,控制论中已有的方法难以处理这类系统问题¹⁹但综合集成方法是可以用来处理这些系统的,因而也就有可能推动这些控制论学科的发展¹⁹.

从应用技术层次来看,在系统科学体系中是系统工程,已有的系统工程方法处理工程系统取得了很大成功,这就是工程系统工程¹⁹但用这些方法来处理复杂系统或复杂巨系统时,就遇到了实质性困难¹⁹但有了综合集成方法,就可以用来解决复杂系统或复杂巨系统的组织管理问题,这样也就把系统工程从工程系统工程发展到了复杂系统工程或复杂巨系统工程,例如社会系统工程¹⁹.

2. 软科学¹⁹软科学的特点之一是交叉性、综合性研究,其对象是社会系统中的管理和决策问题¹⁹软科学研究是为决策者和决策部门提供决策支持的,这种支持不仅有信息支持、知识支持,同时还要有智慧层次的支持,这就要求软科学研究成果,不仅有信息含量、知识含量,还要有智慧含量¹⁹从这个角度来看,综合集成方法可以为软科学研究提供方法论和方法的支持¹⁹从目前我国软科学研究的状况来看,多数研究成果还处在定性综合集成这个阶段上¹⁹.

3. 管理科学¹⁹管理科学的研究和应用对象,其实都是系统,不同的管理对象只不过是不同的系统而已,因此系统科学的理论、方法与技术,对管理科学具有重要意义,特别是对复杂管理对象,实际上是复杂系统或复杂巨系统的管理问题,在这种情况下,综合集成方法和复杂系统工程或复杂巨系统工程对复杂系统管理的理论研究和应用具有重要意义¹⁹.

4. 复杂性科学¹⁹虽然复杂性目前还没有一个公认的科学定义,但复杂性研究或复杂性科学却显示出它体现了现代科学技术发展的综合性和整体化趋势¹⁹圣菲研究所的创建者之一、诺贝尔物理学奖获得者 Gellmann 在其所著“夸克与美洲豹——简单性与复杂性的奇遇”一书中,曾写道“研究已表明,物理学、生物学、行为科学,甚至艺术与人类学,都可以用一种新的途径把它们联系到一起,有些事实和想法初看起来彼此风马牛不相及,但新的方法却很容易使它们发生关联”¹⁹.

复杂性研究或复杂性科学首先遇到的是方法论和方法问题¹⁹复杂性寓于系统之中,是系统复杂性¹⁹.1999 年美国“Science”杂志上,刊登了一组复杂性方面的文章,专辑的标题为“Complex System”,并说“本专辑回避了一个术语上的雷区,部分是为了当方法进一步成熟时给定义的稳定留下一些空间¹⁹我们渴望避开术语上的争论,采用了一个‘复杂系统’的词,代表那些对组成部分的理解不能解释其全部性质的系统之一.”^{[2] 19}.

把复杂性和复杂系统结合起来,这就可以从系统科学角度来研究复杂性¹⁹实际上,SFI 在后来的复杂性研究中,也广泛使用系统的概念,例如他们所研究的复杂适应系统就是一类通过自组织能适应环境变化的系统,并想建立这类系统的演化动力学¹⁹.

这样看来,复杂性研究或复杂性科学与系统科学,特别与系统学所要研究的问题,有着本质的联系¹⁹从这个角度来看,综合集成方法也可用来进行复杂性研究,促进复杂性科学的发展¹⁹.

综合集成方法从提出到现在也不过十多年的时间,方法本身及其应用,虽然取得了一些进展,但从长远来看,这些进展仅仅是个开始¹⁹方法论的创新,将孕育着新的科学革命¹⁹培根式的还原论方法,推动了 19 世纪到 20 世纪科学的大发展¹⁹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,使他能把还原论方法和整体论方法结合起来,并运用辩证唯物主义,创立了系统论方法——综合集成方法,它必将推动 21 世纪系统科学的大发展¹⁹.

参考文献:

- [1] 钱学森. 创建系统学[M]. 山西:山西科学技术出版社,2001.
- [2] Gallagher R, Appenzeller T. 超越还原论[A]. 戴汝为. 复杂性研究论文集[C], 1999.
- [3] 李政道. 前沿学科热点话题卷首语[J]. 科学世界,2000: 1.
- [4] Woldvop. M. 复杂:诞生于秩序与混沌边缘的科学[M]. 三联书店,1997.
- [5] 于景元,涂元季. 从定性到定量综合集成方法——案例研究[J]. 系统工程理论与实践,2002, 22, (5): 1-7.
- [6] 王寿云,等. 开放的复杂巨系统[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,1996.
- [7] 钱学森. 现代科学技术的特点和体系结构[A]. 《论系统工程》(增订本)[C]. 长沙:湖南科学技术出版社,1988.