

# 复杂巨系统科学——一门 21 世纪的科学

戴汝为

教授,中国科学院院士,中国科学院自动化研究所,北京 100080

关键词 开放的复杂巨系统 综合集成 复杂性

开放的复杂巨系统(简称复杂巨系统)及其方法论是我国著名科学家钱学森对系统科学加以开拓,于 80 年代末总结和提炼出来的。对于自然界和人类社会中一些极其复杂的事物,从系统学的观点来看,可以用开放的复杂巨系统来描述。处理这种复杂巨系统,在目前只能用从定性到定量的综合集成法(metasynthesis)。以此方法为基础,开创了复杂巨系统科学。

80 年代初,在美国新墨西哥州圣塔菲研究院(Santa Fe Institute, SFI),以三位诺贝尔奖获得者为代表的一批科学家,致力于发展他们称之为“复杂性科学(science of complexity)”的一场科学革命。

复杂巨系统科学与复杂性科学都是当前国内外关注的、以多学科交叉与整合为特点的前沿科学。本文对它们之间的共同之处与区别作扼要的比较与讨论。

## 一、前言

由于国内外广大科技人员的协同劳动,我国著名科学家钱学森于 1981 年提出三个崭新的科学技术大部门:系统科学、思维科学和人体科学<sup>[1]</sup>,并认为推动系统科学研究的是现代化组织和管理的需要,推动思维科学研究的是计算机技术革命的需要,而推动人体科学研究的是开发人的潜力的需要。在这近 15 年期间,他对这三个领域作出了大量创新性的工作,包括对系统科学进行了开拓,于 80 年代末总结和提炼出来“开放的复杂巨系统”的概念。《自然杂志》1990 年第 1 期发表了钱学森、于景元、戴汝为三人署名的一篇论文“一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论”<sup>[2]</sup>,首次向世人公布了这一新的科学领域及其基本观点:对于自然界和人类社会一些极其复杂的事物,从系统学的观点来看,可以用开放的复杂巨系统来描述。处理这种开放的复杂巨系统,在目前只能用从定性到定量的综合集成法。1992 年初,钱学森同志结合他几十年来参加各种学术讨论会(seminar)的经验,加上现代新的科技成果,如情报信息技术、人工智能和灵境技术等,提出建设从定性到定量综合集成研讨厅体系。这就使得综合集成法有了一个可操作的具体系统。1992 年底他又进一步提出,“要把人的思维;思维的成果,人的知识、智慧以及各种情报、资料统统集成起来。我看可以叫大成智慧工程。中国有‘集大

成’之说,集其大成,得智慧嘛。”

开放的复杂巨系统的诞生有极其重大的意义,但刚开始时并没为广大的科技界人士所认识。经过六年之后,于 1997 年 1 月 6~9 日在北京举行了题为“开放的复杂巨系统的理论与实践”的第 68 次香山科学会议。会议由宋健和戴汝为两位院士担任执行主席。钱学森院士向会议送交了他的书面发言,参加讨论会的有 11 位院士和来自全国各地的多个领域(系统科学、数学、物理、生物、化学、计算机、软科学、军事、经济、气象、石油、化工、建筑、材料、认知科学、人工智能、社会科学、哲学等)的近 50 名专家学者,是一次学科跨度很大的、探讨 21 世纪科学发展的讨论会。

通过大会报告和相关的讨论,大家对开放的复杂巨系统及其方法论、研讨厅体系、大成智慧工程等都有了进一步的理解和更深的认识。一致认为这是一个涉及基础理论、高新技术和有重大实际应用的新科学领域。

本文将对开放的复杂巨系统(以下简称复杂巨系统)这门跨学科、多学科交叉与整合的新科学的发展进行扼要的介绍,并与 80 年代初在美国新墨西哥州圣塔菲研究院(Santa Fe Institute, SFI)的一批科学家所进行并称之为“复杂性科学(science of complexity)”的一场科学革命相对照<sup>[3]</sup>,从而看出两者之间的相似之处与区别。

## 二、SFI 的一场科学革命

下面我们先介绍一点国外情况。本世纪 80 年代,一

场跨学科、交叉学科融汇的科学革命正在兴起。在美国新墨西哥州,几位罗斯阿尔莫斯国家实验室(Los Alamos National Lab., 这个实验室在第二次世界大战中,汇聚了一批著名的物理学家,研制原子弹而闻名于世)的元老,他们不满于当时进行跨学科研究的条件的局限性,在该实验室附近 55 km 的圣塔菲,筹建一个圣塔菲研究院。他们先后邀请了三位诺贝尔奖获得者:夸克理论的创始人、加州理工学院的 Murray Gell-mann,斯坦福大学的经济学家 Kenneth J. Arrow 以及普林斯顿大学凝聚态物理学家 Philip W. Anderson。另外还有一些年轻的科学家,形成了年轻的科学家可以和世界级的大师携手合作的局面,聚集了一批不同领域(生物学、经济学、计算机科学、物理学、数学、哲学等领域)的科学家,他们热衷于不同学科之间的深入与互相影响,在 SFI 安排了经济、物理、生物、计算机、考古、政治学、人类学等领域中的学者的对话与研究,试图在各种不同的复杂系统之间找出一些共性。SFI 的科学家们摆脱固有学科一些观念的束缚,探索未知的新天地,进行一场跨学科、学科大整合的科学革命,致力于他们称之为复杂性科学的开创,所进行的科学发展模式是史无前例的。

关于复杂性科学的一些来龙去脉,SFI 的首任院长柯文(George A. Cowan, 费米奖的获得者)在 1994 年 SFI 举行的一次学术会议的开幕式上作过简要的叙述<sup>[4]</sup>:复杂性作为一门学科,及现代唤醒复杂性兴趣的起源是维也纳。1928 年贝塔朗非(von Bertalanffy)完成描述生物有机体系统的毕业论文。在此之前的若干年,怀特海(Alfred North Whitehead)在《科学和现代世界》上以“有机体的哲学”一文,描述了相类似的见解。自此以后的 20 年,在这方面作出实质性贡献的人及其著作有:马卡洛赫和匹茨(McCulloch and Pitts)的神经网络(neural network)、冯·诺依曼的元胞自动机(cellular automata)和复杂性(complexity)以及维纳(N. Wiener)的控制论(cybernetics)。到了 50 年代以后,尽管普里高津(Prigogine)及哈肯(Haken)做出过重要的贡献,但关于复杂性的研究,看来较为缓慢。从 90 年代开始,SFI 致力于复杂性科学的各有关部分的工作。

柯文教授对复杂性研究发展的来龙去脉的叙述,也可以说是系统科学发展的粗线条;Bertalanffy、Wiener、Prigogine 及 Haken 都是系统科学的先驱者。德国的系统科学家 Haken 还说过:“系统科学的概念是中国学者较早提出来的,这对理解和解决现代科学、推动它的发展是十分重要的。中国是充分认识到系统科学巨大重要性的国家之一”。由于跨学科研究的趋势越来越明显,到了

90 年代,通过 SFI 科学家们的努力,使得复杂性问题的研究变得清晰,而且变得丰富多采。

90 年代初,有关复杂性的研究与探讨,已经引起我国一些科技人员的关注。1991 年 1 月,在中科院张焘等同志的倡议下,并得到一批老科学家的热情支持,由周光召院长主持,举行过一次“复杂性科学学术讨论会”。由于当时对圣塔菲研究院的一些研究情况与结果不够了解,这一新兴科学尚属于众说纷纭的状况,但讨论交叉学科的发展,引起大家很大的兴趣。经过几年的探索后,对复杂性的研究有了明显的进展。1994 年 9 月进行过一次题为“开放的复杂巨系统方法论”的香山学术会议。这两次会议对推动复杂性的研究,起到了积极的作用。

### 三、还原(reduction)与突现(emergence)

复杂性科学中的“复杂”实际上蕴含着“复杂多样”与“层次结构”两个特点。这门新兴科学探索的对象,从一个细胞呈现出来的生命现象到大脑的结构及心智、股票市场的涨落、社会的兴衰及人体的免疫系统等。这些系统都有一些共同的特点,就是它们在变化无常的活动背后,呈现出某种捉摸不定的秩序。复杂性科学试图探索掌握不同层次的复杂系统活动的原理。乍一看来,似乎与传统的科学没有什么区别,但从科学方法论的指导思想来看,实际上远非如此。回顾科学发展的历史,科学还原论的思潮主导着以往 200 年来的科学发展,并取得了辉煌的成就。从牛顿、爱因斯坦,到波耳、海森堡等物理学界的先驱,都是试图用简洁的数学公式来描述自然。单纯与真实成了科学之美的另一种诠释<sup>[3]</sup>。对还原论最早感到不安的是科学哲学家。哲学家以一贯审慎的态度提出问题:知道了部分组成的性质后,就可以掌握全体吗?波普(Karl R. Popper)也曾提出过质疑:一个两只耳朵听不见,且从未听过音乐的物理学家,是否只要研究贝多芬的身体或脑的物理状态,就能写出他所有的交响曲?这当然带有哲学家的夸张,但是科学家早就注意到,部分与整体之间存在着一些不连续的对应关系。SFI 的凝聚态物理学家 Anderson 的前半生的学术生涯是在贝尔实验室(Bell Lab.)度过的,而该实验室本身就具有跨学科的研究环境。对于跨学科的研究,说起来容易,但在学术界,各种惨遭失败的新奇研究院不胜枚举。他观察到一个令人伤感的例子——威风凛凛的普林斯顿高等研究院,大名鼎鼎的奥本海默、爱因斯坦、冯·诺依曼曾经在那里工作过,这座在数学领域有杰出成就的高等

研究院,一批聪明绝顶的科学家各自埋头于自己的研究,绝少彼此交谈;就跨学科的研究而言,可以说是彻底地失败。Anderson 还注意到很多优秀的科学家到了高等研究院后,从来没有达到他们应有的成就!他首先承认,还原论有其“在哲学上准确无误”的形式,也就是相信宇宙是由自然法则所主宰,大多数科学家都全心全意地相信这个说法;事实上很难想象,如果他们不相信这一点的话,科学如何诞生,但是相信自然法则并不意味着只有基本定律和基本粒子值得研究。他于1972年在《科学》期刊上刊登了一篇文章,谈到“能够把万事万物还原成单纯的法则,并不表示就有能力以这些法则重新构建整个宇宙;事实上基本粒子物理学家告诉我们的自然法则越多,这些基本法则似乎就越和其他科学领域的问题及现实社会脱节。”

为了说明复杂性问题与粒子物理的研究的不同,Anderson 以水为例,水分子并不复杂,由一个大的氧原子和两个小的氢原子组成,水分子的活动由原子物理方程式所支配,如果把数不清的水分子放到一个锅里加温,水会慢慢滚动翻腾,发出响声,无数个水分子最终拥有一种特性——液态,这种特性是分子单独不曾拥有的,那些原子物理方程式丝毫没能告知大家这种特性,液态是“突现的(emergent)”,而突现的特性会产生突现的行为,例如把大量水分子冷却到摄氏零度,它们就突然不再骚动而会经历“相变(phase transition)”,锁定成晶体状的规则排列,也就是成为冰;或反其道而行之,把水加热会变成水蒸气,而任何一种相变对单独的水分子都没有任何意义。总之,关键的问题在于,当许多小的组成部分(如分子)彼此相互作用后,整体会出现“突现(merge)”产生一个独特的、新的性质。

其实,德国著名物理学家普朗克早就从正面论述应该怎样看待科学:科学是内在的整体,它被分解为单独的整体,不是取决于事物的本身,而是取决于人类的认识能力的局限性。实际上存在着从物理到化学,通过生物学和人类学到社会学的连续的链条,这是任何一处都不能被打断的链条。这真是远见卓识。由于科学还原论具有局限性,复杂性科学需要采用以整体着眼与还原方法相结合,或者按中国人的概括:需要以整体论和还原论相结合的系统论作为发展21世纪新兴科学的指导。

## 四、大成智慧

在SF1的“探险”进行时,我国著名科学家钱学森正在埋头于跨学科的研究,致力于发展前沿科学,发表了

“系统科学、思维科学与人体科学”的文章,他认为这三个新的科学技术部门都有强大的生命力。1983~1987年期间,他在北京的某研究所,指导“人体科学”的讨论会,每次会上他都有报告和讲话,在1984年3月作了明确的阐述<sup>[3]</sup>:新的科学革命,将会大大开阔我们的眼界,给我们新的力量。比如说,要重视系统工程,这是一个技术革命,但系统工程要发展,还要有系统科学。现在我们就处在系统科学大发展的前夕,这个科学革命不久将会到来,还有一个就是人的思维。在本世纪初,巴甫洛夫在科学研究上开始揭示精神和物质、意识和大脑之间的关系。从前这中间是有墙的,现在把它打破。研究人的思维,现在这个方面的研究工作很有希望,所谓人工智能就是想打破这堵墙。人造的机器也让它有一部分人的思维活动。再有人体科学,这也是深刻地认识到是怎么回事。这对于人的发展会起很大作用。系统科学、思维科学、人体科学,都是在不久的将来要出现的新的科学革命。我们马克思主义者就是要有科学的预见性,我们不是等着事情来了应付一下,我们要有预见,有计划地推动这些科学的发展,来迎接新的革命。1986年他开始在北京市指导思维科学的讨论会(1987年的讨论会因故停止);1986年至90年代初期,他亲自指导一个“系统学”讨论班,开始了定期的学术讨论。同时与一些不同领域的科技人员经常进行广泛的交流,逐渐形成一个学术集体,学术研究持续至今。这个学术集体以科学民主为旗帜,汲取东西方文化的精华,对复杂巨系统有关的基本问题进行了长期的研讨。事实证明,中国科学家不仅参与了这场人类共同的科学革命,而且对系统科学进行了广泛而深入的探索,并做出了重要贡献。这集中表现在提炼出“开放的复杂巨系统”概念,以及处理这类系统的方法论。这一方法论的产生是科学研究长期实践的结果,是经验的总结。这里我们首先从半经验理论的发展方面谈一谈。

在解决实际问题时,人根据自己的经验所给出的猜想与判断是十分重要的,也就是说,对难以用严格的数学理论解决的实际问题,只能采用半经验的理论,即根据大量实践经验及仔细观察提出一种猜想与假设,通过实验加以验证;如果与实验结果相符合,就可以用来解决实际问题。半经验的飞行理论的成功就是一个例子。在19世纪,数学家和力学家们如牛顿(Newton)、达朗贝尔(D'Alembert)等发展的流体力学数学理论,与实际的飞行问题脱节,以致1879年大英航空协会第14届年会有过如下记载“就飞行而言,数学迄今对我们是完全没用的”。后来,以乔治·凯莱(George Cayley,1773~

1875)为代表的半经验飞行理论出现。他在19世纪头10年间,提出两个重要的正确的猜想:作用在平直翼面上的升力与攻角成正比,而不是与攻角的平方成正比;另一个猜想是向上弯曲的弧形翼在零攻角时仍然表现有正的升力。到20世纪初,在数学家、力学家与设计师的合作下,两种互无联系的飞行理论开始汇合,并促进了现代飞行理论的发展。

钱学森院士在美国20年的学术生涯中,亲自经历与参与了现代应用力学的发展过程。回国后,在80年代初期,他对军事对阵模拟进行了研究,1981年对 von Neumann 同 Morgenstern 所建立的博弈论,以及用 Monte Carlo 数值法在计算机上求得结果的方法作了总结,提出能否把博弈论和系统科学结合起来用于结构复杂、成员众多的对阵集团。在后来的工作中赋予了这一方法论更广泛的涵义:处理复杂行为系统的定量方法学,是科学理论、经验和专家判断力的结合。这种定量方法学,是半经验半理论的。提出经验性假设(猜想或判断),是建立复杂行为系统数学模型的出发点,这些经验性假设(猜想或判断)不能用严谨的科学方式证明,但需要经验性数据对其确定性进行检验。从经验性假设(猜想或判断)出发,通过定量方法途径获得结论。后来,他又在对社会系统、人体系统、地理系统三个系统研究实践的基础上,进一步深入提炼、概括和抽象出处理开放的复杂巨系统的方法论。提出处理开放的复杂巨系统的方法是从定性到定量的综合集成方法。就其实质而言是将专家群体(各方面有关的专家)、数据和各种信息与计算技术有机地结合起来,把各门学科的科学理论和人的知识结合起来,这三者构成系统。这个方法的成功应用就在于发挥这个系统的整体优势和综合优势。它的应用可以分几个步骤:第一,明确任务、目的是什么;第二,尽可能多地请有关专家提意见和建议,此外还要搜集大量有关文献资料,获得定性知识。在此基础上,要通过建立一个系统模型,加以摸索。在建模时,必须考虑到与实际调查数据结合起来,统计数据有多少就需要多少个参数。必须用计算机软硬件环境完成建立模型的工作,并通过计算机得出结果。但结果如何,需要把专家请来反复进行检验、修改,直到专家满意。这一过程综合了大量专家的猜想及判断和大量书本资料的知识和信息,不是某一专家的意见,而是从许多专家定性的、不完全定性的认识,到综合的定量认识。

开放的复杂巨系统是各种系统中最为复杂的一类系统,对这类系统的研究,当然也要考虑复杂性问题,他给出复杂性的定义:

“复杂性”是开放的复杂巨系统的特征。“复杂性”问题是开放的复杂巨系统的动力学,或开放的复杂巨系统学的问题。

由于开放的复杂巨系统把复杂系统、复杂巨系统、开放的复杂系统等作为特殊情况,所以复杂性的研究也把这些系统的动力学特性概括在其范畴之中,这就对复杂性的研究方向有一清晰的把握。

1992年3月,他进一步提出“从定性到定量综合集成研讨厅”体系(hall for workshop of metasynthetic engineering)。他的构思是把今天世界上千百万人的聪明才智和已经不在世的古人的智慧都综合起来。研讨厅体系体现了它的构思者在长期的科研实践过程中受益于“讨论班”(workshop)的心得与经验(有好的学术带头人,能充分发扬学术民主,不论职位高低均能参与讨论,无保留地敞开思想,与众交流,知错就公开宣布更正。培养人们在众多尖锐质问下,于短暂瞬间阐明自己观点的能力,有这样的学术环境,才能称为讨论班)及对当代计算机软硬件环境的重要意义的了解。同时研讨厅体系还体现了把自然科学、社会科学与哲学三者相结合所形成的观点。最后还需要说明,研讨厅体系中的人并不是未加训练过的老百姓,而应该是根据我国发展尖端技术的经验,如同曾经培养出来的那种具有高度的科学性——高度的革命觉悟、高度的组织纪律性的人;研讨厅体系中的“厅”并不一定是一个大厅,而是由高速信息网络、现代化的通信设备及计算机的软硬件构成的、使人们共同讨论与解决问题时有身临其境之感的“临境(virtual reality)”技术环境。这种“厅”可以有力地提高人的创造力。这一方法的精髓是把人的“心智”(human mind)和机器的“智能”两者结合起来。这对系统与智能系统的研究来说,是一个带有根本性的转折,从此进入“人机结合的大成智慧”的新时代。把大成智慧工程进一步发展,在理论上进一步提炼成一门学问,就是大成智慧学。它是以马克思主义辩证唯物论为指导,利用信息网络以人-机结合方式,集古今中外知识、大成智慧的学问。

以上所述是在“现代科学技术体系”的总的框架下发展起来的,是跨学科的,充分体现了多学科融合的思想。这一构思是经过多年而形成的,在80年代初,该体系包括六大科学技术部门,后来增加了地理科学、建筑科学、行为科学等共计11大科学技术部门<sup>[6]</sup>,其中的系统科学、思维科学、人体科学、地理科学及建筑科学等,与开放的复杂巨系统有着密切不可分的关系。

## 五、人-机的结合

前面所谈的从定性到定量的综合集成法以及从定性到定量的综合集成研讨厅体系中,重要的论点之一是人与计算机的结合。自从计算机问世以来,所形成的局面,开始是人伺候计算机,对机器不熟悉的人用起机器来颇为困难。于是人们就致力于解决人机接口的问题,提供用户用起来方便的接口,逐渐向计算机伺候人的途径发展。这里所要谈的人-机的结合其意义要深刻得多,也就是说,面对着如何处理开放的复杂巨系统这类问题的挑战,所采取的对策是把人的心智(human mind)与机器的“高性能”两者相结合;从信息获取、信息存储和信息处理的观点来看,计算机是极好的工具,它海量存储、快速处理是前所未有的。从开初处理数据信息,到进一步处理模式信息(pattern information),更进一步处理知识信息(knowledge information)表现出极为有效的能力,但它的灵活性远不如人。应该清醒地看到,计算机虽好,其威力之大,以致把人类从工业化社会推进到信息化社会,但它也具有局限性<sup>[7]</sup>。

另外,非常重要的事实是“心智”的巨大作用。人脑是信息处理的极好的器官,人脑是思维产生的物质基础。思维可以分为逻辑思维、形象思维以及创造思维。逻辑思维可以用计算机模拟,如人工智能领域中的定理证明,国内开展的几何定理的机械化证明,可以说属于逻辑思维的范畴;另外一种重要的思维形式是形象思维,如模式识别,科学中的启发性,以及人的猜想与判断等,具有只可意会而不可言传的性质,只能用比喻来加以描述,要用计算机来模拟形象思维,看来是目前达不到的事;人的思维过程是逻辑思维与形象思维并用,而创造思维是逻辑思维与形象思维的结合,创造思维是智慧的源泉。

关于人的心智,我国哲学家熊十力把智慧概括为“性智”与“量智”两种类型。我们可以这样理解:性智是一种从定性的、宏观的角度,对总的方面巧妙地加以把握的智慧,与经验的积累、形象思维有密切的联系。前面谈到过形象思维的研究方法是宏观方法,与此吻合,人们通过文学艺术活动及不成文的实践感受得以形成;量智是一种定量的、微观的分析、概括与推理的智慧,与严格的训练、逻辑思维有密切的联系。人们通过科学技术领域的实践与训练得以形成。人-机的结合是以人为主,“机”不是代替人,而是协助人。从信息处理的角度来考虑把人的“性智”与“量智”与计算机的“高性能”信息处

理相结合,达到定性的(不精确的)与定量的(精确的)处理互相补充。目前人们清楚地认识到计算机能够对信息进行精确地处理,而且速度之快是惊人的,但它的不足之处是定性(不精确)地处理信息的能力却极差。尽管研究者将一系列近于定性处理信息的方法引入计算机系统中,企图完善其处理能力,但对于真正复杂的问题还是难以解决。与此相反,与计算机相比较,人处理精确信息的能力是既慢又差,但人定性处理信息的能力是十分高明的。明智的办法是在解决复杂问题的过程中,能够形式化的工作尽量让计算机去完成;一些关键的、无法形式化的工作,则靠人的直接参与,或间接的作用,构成人-机结合的系统。这种系统既体现了心智的关键作用,也体现了计算机的特长。这样一来不仅能处理极为复杂的问题,而且通过从定性与定量综合集成,达到集智慧之大成,所以有理由把人-机结合的综合集成概括为“大成智慧”。

## 六、复杂性与复杂巨系统的讨论

在1986~1987年间,经过不同领域科学家的讨论,SFI执行了一个较长期的计划,从事反混沌、混沌的边缘、自适应系统、免疫系统、理论免疫学、经济系统、语言进化、人工生命、人工神经网络计算、复杂动态系统等方面的工作<sup>[8]</sup>。对此,我们不可能逐项仔细地介绍,只简要地提及几个方面。

复杂系统如何在一定的规则下,产生有组织的行为,恰与混沌理论的研究内容相反(系统根据简单规则产生混沌行为),所以称为反混沌(antichaos)。SFI的Kauffman等又拓宽到混沌边缘(edge of chaos)的研究,认为:在各种各样的耦合系统中,最高平均适应性处于有序与混沌之间的转变过程中,通过选择一种合适的策略,生物体就会将其与环境的耦合调节到无论哪种值都会使之达到最佳配合的情况;如果生物体将这种耦合调节到适合自身的优势,那么他们将达到有序与无序的边界。SFI的科学家对经济的看法完全不同于传统的经济学家,他们把经济看成是与历史相联系的,有机且连续进化的科学。

他们认为,复杂系统是有大量的、不同的、相互作用的单元构成的网络。他们认识到还原论对处理复杂系统的局限性:

(1) 单元的行为无法独立地分析,因无法与其他单元分开;

(2) 单元间的关系或相互作用难以明确。

他们建立独特的、有关复杂性研究的学术体系,并概括总结了一套称为自动机网络(automata network,简称 AN)方法.这一方法在处理一些复杂系统时是有效的.

圣塔非研究院的一个重要观点可概括为:通过“猜想”(crude looks)看整个系统是重要的;对于复杂的、高度非线性的系统,其整体的行为不是简单地与部分行为相联系,要求有勇气,在全局情况下(whole situation)从广泛的方面看,而不是看个别方面的具体细节.上述看法出自加州理工学院基本粒子物理诺贝尔奖得主 Gellmann.

前面我们已经介绍过“从定性到定量的综合集成”法.综合集成法的重要意义在于指导人们当遇到复杂的问题时,沿着一种科学的途径去寻求科学与经验相结合的解答.在综合集成法中,专家的猜想与直感是十分重要的.总之,可以说 SFI 的看法与国内的想法有相同之处:

- (1) 还原论有局限性,需要有勇气从整体看问题;
- (2) 在处理复杂问题时,猜想(crude looks)或直感(形象思维)具有重要性.

然而,SFI 的科学家们只过分看重计算机的作用,忽略了人的作用的重要性.

1994 年 Santa Fe 举行过两次会议,一次题为“The Limits of Scientific Knowledge”.一位高级评论员 John Horgan 写了一篇报道<sup>[9]</sup>,提到会议参加者发表了颇不相同的看法,参与 SFI 工作的科学家普遍表示出这样的看法:“随着计算机性能的提高,科学将具有预测、控制与理解自然界的能力”.其他人则持异议,如 Stanford 大学的心理学家 R. Shepard 则担忧“即使我们能利用计算机获得自然界的错综复杂情况,但那些模型复杂得使人难以捉摸”.经过讨论,与会者同意一位巴西数学家 Francisco Antonio Doria 的看法:“我们从复杂性到了困惑(We go from complexity to perplexity)”.从复杂性到困惑,这是美国科学家对复杂性问题进行了多年研究的感受.像社会问题或人脑问题这些开放的复杂巨系统,它们是再大的计算机和计算机网络也处理不了的问题,这可能是它们感到困惑的一个原因.另一次名为“Complexity, Metaphors, Models and Reality”的会议,对他们五年来的进展以及今后研究的问题,作了报告与讨论. Anderson 还在会上作了从八个方面研究复杂性的报告<sup>[10]</sup>.钱学森院士于 1997 年春节的一封信中<sup>[11]</sup>,阐述了对复杂性的研究不能脱离解决开放的复杂巨系统问题.所谓“复杂性”能泛泛讨论吗?人认识问题只能从具体事例入

手,要从解决一个个开放的复杂巨系统问题开始.开放的复杂巨系统有以下几大类:

- (1) 社会环境、地理环境;
- (2) 社会问题;
- (3) 人体问题;
- (4) 人脑问题.

以毛泽东的《实践论》为指导,对每一个问题都要根据实际经验,通过具体工作,用开放的复杂巨系统方法来认识,空谈“复杂性”是无用的.将来问题解决得好,对上述四大类问题有了丰富的经验和深刻的认识,也许那时我们可以概括地讨论“复杂性”了.

Santa Fe Institute 之所以陷入困惑恐怕就在于此,我们还是要用辩证唯物主义思想指导我们的工作.

(1997 年 3 月 25 日收到)

- 1 钱学森.自然杂志,1981;4(1):3-9
- 2 钱学森,于景元,戴汝为.自然杂志,1990;13(1):3-10
- 3 Waldrop, M. M. (齐若兰译).复杂:走在秩序与混沌边缘.台湾:天下文化出版社,1996:65-128; (陈玲译).复杂:诞生于秩序与混沌边缘的科学.北京:生活·读书·新知三联书店,1997:59-128
- 4 Cowan, A. Conference opening remarks. In: Cowan, A. Pines, D. Meltzer, D., et al. Complexity, Metaphors, Models and Reality. Addison-Wesley, 1994: 1-2
- 5 钱学森.人体科学与现代科技发展纵览.北京:人民出版社,1996:135-137
- 6 钱学森.科学的艺术与艺术的科学,北京:人民出版社,1994:29-30
- 7 戴汝为,王珏,田捷.智能系统的综合集成.杭州:浙江科学技术出版社,1996:18-19
- 8 戴汝为,沙飞.自然杂志,1995;17(2):73-78
- 9 Horgan, J. Scientific American, 1995;269(6):73-78
- 10 Anderson, P. W. The eightfold way to the theory of complexity, In: Cowan, G. A., Pines, D., Meltzer, D., et al. Complexity, Metaphors, Models and Reality. Addison-Wesley, 1994: 7-17
- 11 钱学森.1997 年 2 月 8 日致于景元、戴汝为的一封信

## Complex Giant System Science — A 21st century science

Dai Ru-wei

Professor, Member of Chinese Academy of Science, Institute of Automation, CAS, Beijing 100080

**Key words** open complex giant system, metasynthesis, complexity