

编者按:为了纪念钱学森院士于 1955 年 10 月返回祖国 50 周年,本刊特刊出他的著名论著“一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论”一文及其英文摘要。此文原由钱学森、于景元、戴汝为联名发表于 1990 年《自然杂志》第一期。近年来人们普遍认同,城市及其区域也是一个典型的开放的复杂巨系统,也具有极为广阔的研究领域。为此,我们相信发表钱学森院士的这篇论文必然会大大地推动城市科学学科理论的发展。

一个科学新领域

——开放的复杂巨系统及其方法论^[1]

A new discipline of science

——The study of open complex giant system and its methodology

钱学森/QIAN Xuesen

【摘要】本文介绍了开放的复杂巨系统的概念及其方法论,强调了其在科技发展中的重要作用。作者认为强调简化法的精确科学不适用于开放的复杂巨系统。而唯一可行的替代方法是从定性法向定量法的超大工程学。

【关键词】系统科学;方法论;超大工程学

【Abstract】This paper introduces the conception of open complex giant system and the methodology for dealing with the system, with stress on its profound significance in development of science and technology. The authors conclude that the reductionism underlying the exact science is not suitable to open complex giant system, and the only feasible alternative is the meta-synthetic engineering from the qualitative to the quantitative.

【Keywords】Systems science; Methodology; Meta-synthetic engineering

【中图分类号】F290

【文献标识码】A

In the last twenty years, systems science, evolving from concrete applications of systems engineering, has gradually developed into a new discipline of modern science and technology^[1]. Notably in recent years a large new field emerges, i.e. the research of open complex giant system. The aim of this paper is to discuss this system and its methodology.

1. CLASSIFICATION OF SYSTEMS

System science takes systems as its object of research. Systems exist everywhere in nature and in human society. For example, the solar system, the human body, a family, and a manufacturing enterprise are all systems. To facilitate research, systems can be divided on different principles into different class types. They can be classified as natural or man-made,

open or closed, dynamic or time-invariant, living or inanimate, etc.

The classifications above are rather straight-forward, but the point of view stresses too much on the concrete intensioa, so the essence of the system is thereby neglected. And the essence is of supreme importance to systems science research. So a new classification has been brought up in^[2] as follows:

Depending on the quantity and the interactive complexity of the subsystems and variety of subsystems contained in the systems, Systems can be divided into two large groups: simple systems and pt systems. Simple system denotes there comprising relatively fewer subsystems with sinapler intencelations. Some inanimate system, such as a measuring instrument, is a small system. If the number of subsystems is comparatively large (e.g. a

hundred), such as a manufacturing plant, it can be called a large system. No matter which it is, small or large, such a simple system can be studied, starting from the interaction of the subsystems, then directly synthesizing the dynamic function of the complete system. This can be called the direct method. At most, a large computer or a supercomputer is needed to process such a system.

If the number of the subsystems is extremely large (e.g. thousands to trillions), then it is called a giant system. If the variety of the subsystems is not too diffuse (several, or tens of different kinds), and their interrelation is not too complex, then this can be called a simple giant system, e.g. a laser system. Naturally, approaches for treating simple small or large systems cannot be applied to the study of such giant systems, even a supercomputer won't suffice, and no anticipated computer will have adequate capacity to meet the needs of such mode of study. Direct synthesis won't do, so the great achievements of statistical mechanics are brought to mind, where giant system consisting of billions of elements is generalized by statistical methods with details neglected. This contribution is made by Prigogine and Haken. They called their work, theory of Dissipative Structure and Synergism respectively. \triangle

近 20 年来,从具体应用的系统工程开始,逐步发展成为一门新的现代科学技术大部门——系统科学,其理论和应用研究,都已取得了巨大进展^[2]。特别是最近几年,在系统科学中涌现出了一个很大的新领域,这就是最先由马宾同志发起的开放的复杂巨系统的研究。开放的复杂巨系统存在于自然界、人自身以及人类社会,只不过以前人们没有能从这样的观点去认识并研究这类问题。本文的目的就是专门讨论这一类系统及其方法论。

1 系统的分类

系统科学以系统为研究对象,而系统在自然界和人类社会是普遍存在的。如太阳系是一个系统,人体是一个系统,一个家庭是一个系统,一个工厂企业是一个系统,一个国家也是一个系统,等等。客观世界存在着各种各样的系统。为了研究上的方便,按着不同的原则可将系统划分为各种不同的类

型。例如,按着系统的形成和功能是否有人参与,可划分为自然系统和人造系统;太阳系就是自然系统,而工厂企业是人造系统。如果按系统与其环境是否有物质、能量和信息的交换,可将系统划分为开放系统和封闭系统;当然,真正的封闭系统在客观世界中是不存在的,只是为了研究上的方便,有时把一个实际具体系统近似地看成封闭系统。如果按系统状态是否随着时间的变化而变化,可将系统划分为动态系统和静态系统;同样,真正的静态系统在客观世界也是不存在的,只是一种近似描述。如果按系统物理属性的不同,又可将系统划分为物理系统、生物系统、生态环境系统等;按系统中是否包含生命因素,又有生命系统和非生命系统之分,等等。

以上系统的分类虽然比较直观,但着眼点过份地放在系统的具体内涵,反而失去系统的本质,而这一点在系统科学研究中又是非常重要的。为此,在钱学森的《哲学研究》^[3]中提出了以下分类方法。

根据组成系统的子系统以及子系统种类的多少和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,它们之间关系自然比较单纯。某些非生命系统,如一台测量仪器,这就是小系统。如果子系统数量相对较多(如几十、上百),如一个工厂,则可称作大系统。不管是小系统还是大系统,研究这类简单系统都可从子系统相互之间的作用出发,直接综合成全系统的运动功能。这可以说是直接的做法,没有什么曲折,顶多在处理大系统时,要借助于大型计算机,或巨型计算机。

若子系统数量非常大(如成千上万、上百亿、万亿),则称作巨系统。若巨系统中子系统种类不太多(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。研究处理这类系统当然不能用研究简单小系统和大系统的办法,就连用巨型计算机也不够了,将来也不会有足够大容量的计算机来满足这种研究方式。直接综合的方法不成,人们就想到本世纪初统计力学的巨大成就,把亿万万个分子组成的巨系统的功能略去细节,用统计方法概括起来。这很成功,是 I. Prigogine 和 Haken 的贡献,它们各自称为耗散结构理论和协同学。

2 开放的复杂巨系统

如果子系统种类很多并有层次结构,它们之间

关联关系又很复杂，这就是复杂巨系统。如果这个系统又是开放的，就称作开放的复杂巨系统。例如：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，这些系统无论在结构、功能、行为和演化方面，都很复杂，以致于到今天，还有大量的问题，我们并不清楚。如人脑系统，由于人脑的记忆、思维和推理功能以及意识作用，它的输入—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；从反应类型看，可能是真反应，也可能是假反应，甚至没有反应，所以，人的行为决不是什么简单的“条件反射”，它的输入—输出特性随时间而变化。实际上，人脑有 10^{12} 个神经元，还有同样多的胶质细胞，它们之间的相互作用又远比一个电子开关要复杂得多，所以美国 IBM 公司研究所的 E. Clemend 曾说^[4]，人脑像是由 10^{12} 台每秒运算 10 亿次的巨型计算机关联而成的大计算网络！

再上一个层次，就是以人为子系统主体而构成的系统，而这类系统的子系统还包括由人制造出来具有智能行为的各种机器。对于这类系统，“开放”与“复杂”具有新的更广的含义。这里开放性指系统与外界有能量、信息或物质的交换。说得确切一些：①系统与系统中的子系统分别与外界有各种信息交换；②系统中的各子系统通过学习获取知识。由于人的意识作用，子系统之间关系不仅复杂而且随时间及情况有极大的易变性。一个人本身就是一个复杂巨系统，现在又以这种大量的复杂巨系统为子系统而组成一个巨系统——社会。人要认识客观世界，不单靠实践，而且要用人类过去创造出来的精神财富，知识的掌握与利用是个十分突出的问题。什么知识都不用，那就回到一百多万年以前我们的祖先那里去了。人已经创造出巨大的高性能的计算机，还致力于研制出有智能行为的机器，人与这些机器作为系统中的子系统互相配合，和谐地进行工作，这是迄今为止最复杂的系统了。这里不仅以系统中子系统的种类多少来表征系统的复杂性，而且知识起着极其重要的作用。这类系统的复杂性可概括为：①系统的子系统间可以有各种方式的通讯；②子系统的种类多，各有其定性模型；③各子系统中的知识表达不同，以各种方式获取知识；④系统中子系统

的结构随着系统的演变会有变化，所以系统的结构是不断改变的。我们把上述系统叫作开放的特殊复杂巨系统，即通常所说的社会系统。

系统的这种分类，清晰地刻画了系统复杂性的层次，它对系统科学理论和应用研究具有重大意义。从社会系统的最近研究中，也可以看出这一点。研究人这个复杂巨系统可以看做是社会系统的微观研究；而在社会系统的宏观研究方面，根据马克思创立的社会形态概念，任何一个社会都有三种社会形态，即经济的社会形态、政治的社会形态、意识的社会形态，可把社会系统划分为三个组成部分，即社会经济系统、社会政治系统、社会意识系统。相应于三种社会形态应有三种文明建设，即物质文明建设（经济形态）、政治文明建设（政治形态）和精神文明建设（意识形态）。社会主义文明建设，应是这三种文明建设的协调发展^[5]。这一结论无论在理论上还是在实践中都有重要意义。从实践角度来看，保证这三种文明建设协调发展的就是社会系统工程。按着系统工程的定义，组织管理社会经济系统的技术，就是经济系统工程；组织管理社会政治系统的技术，就是政治系统工程；组织管理社会意识系统的技术，就是意识系统工程。而社会系统工程则是使这三个子系统之间以及社会系统与其环境之间协调发展的组织管理技术。从我国改革开放的现实来看，不仅需要经济系统工程，更需要社会系统工程。单纯地进行经济体制改革，不注意另外两个子系统的关联制约作用，经济体制改革难以成功。例如“官倒”、党内某些腐败现象、社会风气不正等等，都对经济体制改革造成了严重影响，以致于不得不来治理经济环境，整顿经济秩序。党的十三届五中全会提出的进一步治理整顿和深化改革，就是社会主义制度的自我完善，是中国社会形态的自我完善。这都说明了单打一的零散改革是不行的。改革需要总体分析、总体设计、总体协调、总体规划，这就是社会系统工程对我国改革和开放的重大现实意义。

从以上列举的开放的复杂巨系统的实例中，可以看到，它们涉及到生物学、思维科学、医学、地学、天文学和社会科学理论，所以这是一个很广阔的研究领域。值得指出的是，这些领域的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，也都或多或少地用本学科的各自语言涉及开放的复杂巨系统这一思想，如中医理论，

但今天却都能概括在开放的复杂巨系统的概念之中,而且更加清晰、更加深刻了。这个事实启发我们,开放的复杂巨系统概念的提出及其理论研究,不仅必将推动这些不同学科理论的发展,而且还为这些理论的沟通开辟了新的令人鼓舞的前景。

3 开放的复杂巨系统的研究方法

开放的复杂巨系统目前还没有形成从微观到宏观的理论,没有从子系统相互作用出发,构筑出来的统计力学理论。那么有没有研究方法呢?有些人想得比较简单,硬要把第一节中讲到的处理简单系统或简单巨系统的方法用来处理开放的复杂巨系统。他们没有看到这些理论方法的局限性和应用范围,生搬硬套,结果适得其反。例如,运筹学中的对策论,就其理论框架而言,是研究社会系统的很好工具,但对策论今天所达到的水平和取得的成就,远不能处理社会系统的复杂问题。原因在于对策论中已把人的社会性、复杂性、人的心理和行为的不确定性过于简化了,以致于把复杂巨系统问题变成了简单巨系统或简单系统的问题了。同样,把系统动力学、自组织理论用到开放的复杂巨系统研究之中,所以不能成功,其原因也在于此。系统动力学创始人 J. Forrester 自己就提出^[6],对他的方法要慎重,要研究模型的可信度。但国内有些人对此却毫不担心,“大胆”使用。

另外,也有的人一下子把复杂巨系统的问题上升到哲学高度,空谈系统运动是由子系统决定的,微观决定宏观等等。一个很典型的例子就是“宇宙全息统一论”^[7]。他们没有看到人对子系统也不能认为完全认识了。子系统内部还有更深更细的子系统。以不全知去论不知,于事何补?甚至错误地提出“部分包含着整体的全部信息”、“部分即整体,整体即部分,二者绝对同一”,这完全是违反客观事实的,也违反了马克思主义哲学。

实践已经证明,现在能用的、惟一能有效处理开放的复杂巨系统(包括社会系统)的方法,就是定性定量相结合的综合集成方法,这个方法是在以下三个复杂巨系统研究实践的基础上,提炼、概括和抽象出来的,这就是:

①在社会系统中,由几百个或上千个变量所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在人体系统中,把生理学、心理学、西医学、中医和传统医学以及气功、人体特异功能等综合起来的研究;

③在地理系统中,用生态系统和环境保护以及区域规划等综合探讨地理科学的工作。

在这些研究和应用中,通常是科学理论、经验知识和专家判断力相结合,提出经验性假设(判断或猜想);而这些经验性假设不能用严谨的科学方式加以证明,往往是定性的认识,但可用经验性数据和资料以及几十、几百、上千个参数的模型对其确实性进行检测;而这些模型也必须建立在经验和对系统的实际理解上,经过定量计算,通过反复对比,最后形成结论;而这样的结论就是我们在现阶段认识客观事物所能达到的最佳结论,是从定性上升到定量的认识。

从上述,定性定量相结合的综合集成方法,就其实质而言,是将专家群体(各种有关的专家)、数据和各种信息与计算机技术有机结合起来,把各种学科的科学理论和人的经验知识结合起来。这三者本身也构成了一个系统。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。

近几年,国外有人提出综合分析方法(meta-analysis)^[8],对不同领域的信息进行跨域分析综合,但还不成熟,方法也太简单,而定性定量相结合的综合集成方法却是真正的 meta-synthesis。

4 综合集成方法的实例

下面,我们以社会经济系统工程中“财政补贴、价格、工资综合研究”为例,来说明这个方法及其应用。这个案例是成功的。

1979 年以来,由于实行农副产品收购提价和超购加价政策,提高了农民收入,这部分钱是由国家财政补贴的。但是,当时对销售价格没有作相应调整,结果是随着农业连年丰收,超购加价部分迅速增大,给国家财政带来了沉重的负担,是财政赤字的主要根源。这样,造成了极不正常的经济状态:农业越丰收,财政补贴越多。致使国家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。

财政补贴产生的这些问题。引起国家的极大重视,有关部门提出,如何利用价格工资这两个经济杠杆,逐步减少以至取消财政补贴。然而,调整零售商

品价格必将影响到人民生活水平;如果伴以工资调整,又涉及到财政负担能力、市场平衡、货币发行和储蓄等。这些问题涉及到经济系统中生产、消费、流通、分配这四个领域。

财政补贴、价格、工资以及直接和间接有关的各个经济组成部分,是一个互相关联互相制约的具有一定功能的系统。调整价格和工资从而取消财政补贴,实质上就是改变和调节这个系统的关联、制约关系,以使系统具有我们希望的功能,这是系统工程的典型命题。

为了解决这个问题,首先由经济学家、管理专家、系统工程专家等依据他们掌握的科学理论、经验知识和对实际问题的了解,共同对上述系统经济机制(运行机制和管理机制)进行讨论和研究,明确问题的症结所在,对解决问题的途径和方法作出定性判断(经验性假设),并从系统思想和观点把上述问题纳入系统框架,界定系统边界,明确那些是状态变量、环境变量、控制变量(政策变量)和输出变量(观测变量)。这一步对确定系统建模思想、模型要求和功能具有重要意义。

系统建模是指将一个实际系统的结构、功能、输入-输出关系用数字模型、逻辑模型等描述出来,用

对模型的研究来反映对实际系统的研究。建模过程既需要理论方法又需要经验知识,还要有真实的统计数据和有关资料。

有了系统模型,再借助于计算机就可以模拟系统和功能,这就是系统仿真。它相当于在实验室内对系统作实验,即系统的实验研究。通过系统仿真可以研究系统在不同输入下的反应、系统的动态特性以及未来行为的预测等等,这就是系统分析。在分析的基础上,进行系统优化,优化的目的是要找出为使系统具有我们所希望的功能的最优、次优或满意的政策和策略。

经过以上步骤获得的定量结果,由经济学家、管理专家、系统工程专家共同再分析、讨论和判断,这里包括了理性的、感性的、科学的和经验的知识的相互补充。其结果可能是可信的,也可能是不可信的。在后一种情况下,还要修正模型和调整参数,重复上述工作。这样的重复可能有许多次,直到各方面专家都认为这些结果是可信的,再作出结论和政策建议。这时,既有定性描述,又有数量根据,已不再是先验的判断和猜想,而是有足够科学根据的结论。以上各步可用框图表示,如图 1。

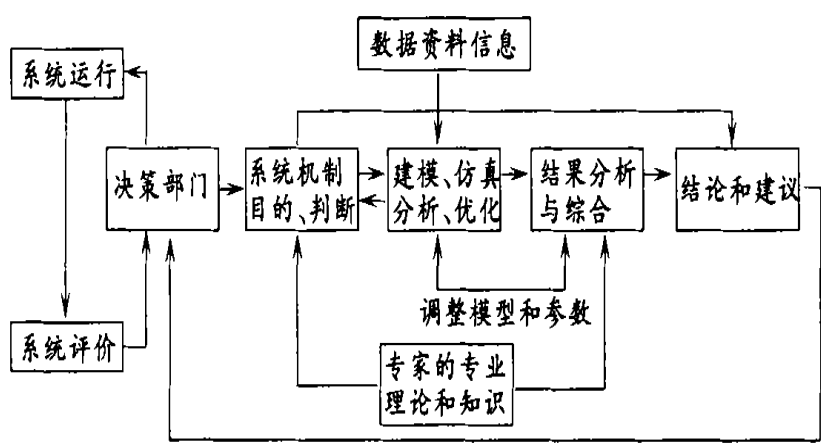


图 1

5 系统集成还可以用知识工程

如上所述,系统集成方法取得了很好的效果。在解决问题的过程中,专家群体和专家的经验知识起着重要的作用。在以前,如在前一节所举的实例中,这一综合的过程还没有使用机器。建立模型也是靠人动脑子思考。现在看,我们还可以进一步,

在一个系统中加入知识这一极其重要的因素;这就牵涉到知识的表达和知识的处理,实际上就是知识工程的问题了。知识工程是人工智能的一个重要分支,解决问题的办法着眼于合理地组织与使用知识,从而构成知识型的系统。专家系统就是一种典型的知识型系统;专家的一部分作用可以通过专家系统来实现,所以专家系统也自然是系统中的子系统。

再进一步分析,在前面关于系统分类的讨论中,开放的特殊复杂巨系统居于最高层次,人作为这种系统中的子系统。人不能脱离社会而存在,随着社会的发展,人类创造各种机器来代替体力劳动与部分脑力劳动,结果具有智能行为的机器必然也是子系统。由人、专家系统及智能机器作为子系统所构成的系统必然是人、机交互系统。各子系统互相协调配合,关键之处由人指导、决策,重复繁重工作由机器进行。人与机器以各种方便的通讯方式,例如自然语言、文字、图形等,进行人、机通讯,形成一个和谐的系统。

近年来知识工程领域中的一些专家认识到以往忽视理论的错误倾向,已在探讨知识型系统研究的方法论问题。知识工程中的核心问题是知识表达,即如何把各种知识,如书本知识、专门领域有关的知识、经验知识、常识知识等,表示成计算机能接受并能加以处理的形式,这是必须解决的基本问题。知识型的系统与以往的动态系统不同,它的特点是以知识控制的启发式方法求解问题,不是精确的定量处理,因为许多知识是经验性的,难以精确描述,对于知识型系统,不能像以往的一些控制系统那样建立定量的数学模型,而只能采用定性的方法。如果系统中包括一些可以定量描述的部件,那么也必然是采用定性定量相结合的方法来进行系统综合。已有许多工作是利用定性物理的概念与建模方法来建立定性模型,进而研究定性推理的^[9]。定性建模是一种把深层知识进行编码的方法,关心的只是变化的趋势,例如增加、减少、不变等。定性推理指的是在定性模型上的操作运行,从而得到或预估系统的行为。这里着重的是结构、行为、功能的描述及它们之间的关系。到目前为止,已有三方面代表性的工作,一是 Xerox 公司的 DeKleer 等人从系统的观点出发提出以部件为主(component centered)的模型,认为系统最重要的特性是可合成性,在结构上系统由部件连接而成,系统的行为可由部件的行为推导而得出。他们致力于建立一种能进行解释与预估的定性物理系统。另一是 MIT 计算机科学实验室的 Kuiper 提出以约束为主(constraint centered)的模型。第三是 MIT 人工智能实验室的 Forbus 提出以进程为主(process centered)的模型。他把引起运动和变化的原因等称为进程,致力于建立进程对物理过程影响的理论。知识工程中研究定性建模与推理的动机

是研究常识知识,解决常识知识的表达、存储、推理等。很多专家认为定性建模与推理的方法及理论研究很可能是解决利用常识知识的途径。1988 年欧洲人工智能大会把最佳论文奖授予关于定性物理模型和计算模型的论文,说明人们对这方面的研究所抱的希望。

实际上人工智能领域中有许多重要的工作是从系统的角度考虑的。有一种主张把人工智能的研究概括为是对各种定性模型(物理的、感知的、认识的、社会系统的模型)的获取、表达与使用的计算方法进行研究的学问^[10]。这是系统科学观点的反映。当前人工智能领域中综合集成的思想得到重视,计算机统筹制造系统(Computer Integrated Manufacture System,简称 CIMS 系统)的提出与问世就是一个例子。在工业生产中,产品设计与产品制造是两个重要方面,各包括若干个环节,这些环节以现代化技术通过人、机交互在进行工作。以往设计与制造是分开各自进行的。现在考虑把两者用人工智能技术有机地联系起来,及时把制造过程中有关产品质量的信息向设计过程反馈,使整个生产灵活有效,又能保证产品的高质量。这种把设计、制造,甚至管理销售统一筹划设计的思想恰恰是开放的复杂巨系统的系统集成思想的体现:

总之,我们把系统的“开放性”和“复杂性”这两个概念拓广之后,对系统的认识就更加深刻,所概括的内容也就更为广泛。这种广泛性是从现代科学技术的发展,尤其是新兴的知识工程的发展中抽象概括而得来的,有着坚实的基础与充分的根据。在我们阐明了开放的特殊复杂巨系统属于系统分类中的最高层次之后,实际上就把系统科学与人工智能两大领域明显地加以沟通。这样一来各种以知识为特征的智能型系统,如互相合作的人工智能系统、分布式人工智能系统以及实时智能控制系统等都属于一个统一的、明确的范畴。这就有利于去建立开放的复杂巨系统的理论基础,这是当代科学发展的必然结果。

6 开放的复杂巨系统研究的意义

从以上所述,定性定量相结合的综合集成方法,概括起来具有以下特点:

①根据开放的复杂巨系统的复杂机制和变量众多的特点,把定性研究和定量研究有机地结合起来,

从多方面的定性认识上升到定量认识。

②由于系统的复杂性,要把科学理论和经验知识结合起来,把人对客观事物的星星点点知识综合集中起来,解决问题。

③根据系统思想,把多种学科结合起来进行研究。

④根据复杂巨系统的层次结构,把宏观研究和微观研究统一起来。

正是上述这些特点,才使这个方法具有解决开放的复杂巨系统中复杂问题的能力,因此它具有重大的意义,以下将着重讲讲这个看法。

现代科学技术探索和研究的对象是整个客观世界,但从不同的角度、不同的观点和不同的方法研究客观世界的不同问题时,现代科学技术产生了不同的科学技术部门。例如,自然科学是从物质运动、物质运动的不同层次、不同层次之间的关系这个角度来研究客观世界的,社会科学是从研究人类社会运动、客观世界对人类发展影响的角度去研究客观世界的,数学科学则是从量和质以及它们互相转换的角度研究客观世界的……^[11];而系统科学是从系统观点,应用系统方法去研究客观世界的。系统科学作为一个科学技术部门,从应用到基础理论研究都是以系统为研究对象。在宏观世界,我们这个地球上,又产生了生命、生物,出现了人类和人类社会,有了开放的复杂巨系统。而这类系统在宏观世界也是存在的,例如银河星系也是一个开放的复杂巨系统。这样看来,开放的复杂巨系统概念,已经超出了宏观世界而进入了更广阔的天地。因此,开放的复杂巨系统及其研究具有普遍意义。但是,正如前面已经指出的那样,过去的科学理论都不能解决开放的复杂巨系统的问题,这也是有原因的,可以从历史中去找。

大家知道,长期以来不同领域的科学家们早已注意到,在生命系统和非生命系统之间表现出似乎截然不同的规律。非生命系统通常服从热力学第二定律,系统总是自发地趋于平衡态和有序,系统的熵达到极大。系统自发地从有序变到无序;而有序却决不会自发地转变到有序,这就是系统的不可逆性和平衡态的稳定性。但是,生命系统却相反,生物进化、社会发展总是由简单到复杂、由低级到高级越来越有序。这类系统能够自发地形成有序的稳定结构。

两类系统之间的这种矛盾现象,长时间内得不到理论解释,致使有些科学家认为,两类系统各有各的规律,相互毫不相干。但也有些科学家提出:这种矛盾现象有没有什么内在联系呢?直到本世纪 60 年代,耗散结构理论和协同学的出现,为这个问题提供了一个科学的理论框架。这些理论认为,热力学第二定律所揭示的是孤立系统(与环境没有物质和能量的交换)在平衡态和近平衡态(线性非平衡态)条件下的规律。但生命系统通常都是开放系统,并且远离平衡态(非线性非平衡态)。在这种情况下,系统通过与环境进行物质和能量的交换引进负熵流,尽管系统内部产生正熵,但总的熵在减少,在达到一定条件时,系统就有可能从原来的无序状态自发地转变为在时间、空间和功能上的有序状态,产生一种新的稳定的有序结构,Pdsoine 称其为耗散结构。这样,在不违背热力学第二定律的条件下,耗散结构理论沟通了两类系统的内在联系,说明两类系统之间并没有真正严格的界限,表观上的鸿沟,是由相同的系统规律所支配。所以,Pdsoine 在其著作中指出,“复杂性不再仅仅属于生物学了,它正在进入物理学领域,似乎已经植根于自然法则之中”^[12]。Haken 更进一步指出,一个系统从无序转化为有序的关键并不在于系统是平衡和非平衡,也不在于离平衡态有多远,而是由组成系统的各子系统,在一定条件下,通过它们之间的非线性作用,互相协同和合作自发产生稳定的有序结构,这就是自组织结构。

现代科学 20 年来的这一成就是十分重要的,它阐明了长期以来困惑着人们的一个谜。但耗散结构理论、协同学的成功,也使得不少人过份乐观,以为这种基于近代科学还原论的定量方法论也可以用到开放的复杂巨系统,从而碰壁!

在科学发展的历史上,一切以定量研究为主要方法的科学,曾被称为“精密科学”,而以思辨方法和定性描述为主的科学则被称为“描述科学”。自然科学属于“精密科学”,而社会科学则属于“描述科学”。社会科学是以社会现象为研究对象的科学,社会现象的复杂性使它的定量描述很困难,这可能是它不能成为“精密科学”的主要原因。尽管科学家们为使社会科学由“描述科学”向“精密科学”过渡作出了巨大努力,并已取得了成效,例如在经济科学方面,但整个社会科学体系距“精密科学”还相差甚远。从前

面的讨论中可以看到，开放的复杂巨系统及其研究方法实际上是把大量零星分散的定性认识、点滴的知识，甚至群众的意见，都汇集成一个整体结构，达到定量的认识，是从不完整的定性到比较完整的定量，是定性到定量的飞跃。当然一个方面的问题经过这种研究，有了大量积累，又会再一次上升到整个方面的定性认识，达到更高层次的认识，形成又一次认识的飞跃。

德国著名的物理学家普朗克认为：“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。”自然科学和社会科学的研究覆盖了这根链条。伟大导师马克思早就预言：“自然科学往后将会把关于人类的科学总括在自己下面，正如同关于人类的科学把自然科学总括在自己下面一样：它将成为一个科学。”^[13]，我们称这种自然科学与社会科学成为一门科学的过程为自然科学与社会科学的一体化。可以说，开放的复杂巨系统研究及其方法论的建立，为实现马克思这个伟大预言，找到了科学的和现实可行的途径与方法。

在结束这番讨论的时候，我们还要指出：这里提出的定性与定量相结合的综合集成方法，不但是研究处理开放的复杂巨系统的当前惟一可行的方法，而且还可以用来整理千千万万零散的群众意见，人民的建议、议案，政协委员的意见、提案和专家的见解，以至个别领导的判断，真正做到“集腋成

裘”。特别当我们引用它把零金碎玉变成大器——社会主义建设的方针、政策和发展战略，以至具体计划和计划执行过程的必要调节调整时（这在本文第四节讲的实例中已见一个小小的开端），就把多年来我们党提出的民主集中原则，科学地、完美地实现了。其意义远远超出科学技术的发展与进步，这是关系到社会主义建设以至实现共产主义理想的大事了。人民群众才是历史的创造者！△

【参考文献】

[1] 此文由钱学森、于景元、戴汝为联名发表在《自然杂志》1990 年 1 期上。
[2] 钱学森等·论系统工程(增订本)，系统科学与系统工程丛书，湖南科学技术出版社，1988。
[3] 钱学森·哲学研究，10(1989)3。
[4] New Scielist，21 Jan·(1988)68。
[5] 钱学森，孙凯飞，于景元·政治学研究，1989(5)。
[6] Forrester J W· Theory and Application of System Dynamics· New Times Press(1987)。
[7] 王存臻，严春友·宇宙全息统一论·山东人民出版社，1988。
[8] Hedges L，Olk I· In statistical methods for meta-analysis，academic press，1985；Wolf F M· Meta-Analysis· Qualitative methods for research synthesis，sage，1986；Rosenthal R· Meta-analytic procedures for social research，sage(1984)；Light R，Pillemer D· Summing up：the science of reviewing research，Harvard University Press(1984)。
[9] 王珏，崔祺·中国计算机用户，1989(8)：22。
[10] 戴汝为·中国计算机用户，8(1989)14。
[11] 吴义生编·社会主义现代化建设的科学和系统工程，中共中央党校(1987)第六章。
[12] 尼科里斯，普利高津·探索复杂性，四川教育出版社(1986)。
[13] 马克思·经济学一哲学手稿，人民出版社(1957)91。

《城市发展研究》杂志撰稿须知

- 1. 本刊所发作品仅代表作者观点，并不一定反映编辑部的立场。
- 2. 本刊对来稿保留修改权，有特殊要求者请事先声明。
- 3. 本刊对所发作品享有中文专有版权，请勿一稿多投。
- 4. 作者可以使用计算机软盘形式、电子邮件形式或书面形式向本刊投稿。本刊提倡以计算机软盘形式、电子邮件形式投稿。
- 5. 来稿请一律附上 200 字以内的内容摘要，并列关键词。
- 6. 请将来稿作者姓名注在文章标题之下；作者简介和单位、通讯地址、邮编、电话、发稿日期等附在文章之后。
- 7. 作者在来稿时，请附上文章标题、摘要和关键词的英文译文。
- 8. 各类基金资助项目、获奖项目请在来稿时注明。
- 9. 来稿的处理周期一般为三个月，超过三个月未得到通知者，请自行处理。限于人力和财力，来稿一般不退，敬请作者自留底稿。
- 10. 本刊对所发论文享有电子版权，如有异议，请事先声明。