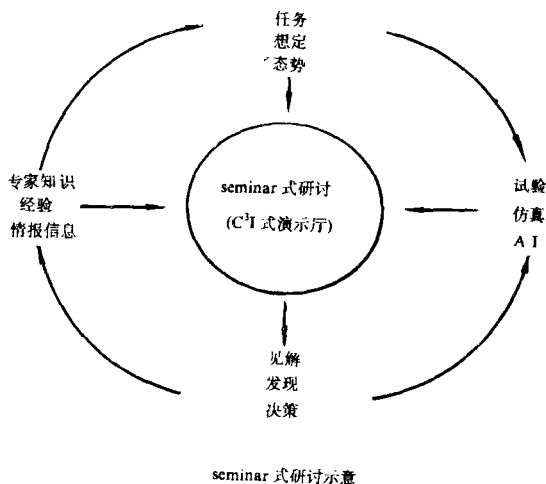


Eagle, 后来 MITER 公司也参加进去。Eagle 是第一个采用 AI 与常规损耗算法相结合的 C^3I 模型。

C^3I 中, C^2 过程的核心, 是作战部队各层次指挥官的决策, 因此采用 AI 是一种自然的选择。师级 Eagle 1990 年 1 月开始运转, 并正在进行 Operational Testing, Verification, Validation。师级 Eagle 体现指挥、控制、机动、直瞄火力、直升机、近距空中支援、防空、探测器、有限的情报汇集, 以及其它功能。集团军级 Eagle 以师级 Eagle 为基础, 开发工程预计 1992 年 9 月完成。其功能包括: 扩大的 C^2 , 战场空中阻断, 作战勤务支援, 电子战, 以及其它功能。以 Eagle 为代表的 C^3I 最新建模方法, 采用面向对象的程序设计范式 (Objectoriented Programming Paradigm)。迄今为止, 大多数建模方法的数据结构, 本质上是方便计算机而不是方便用户的表达。从认识论原理来观察, OOP 更接近于人的认识方法。这种范式为人们建立

了一种既有利于增强用户对模型的学习、了解能力, 又有助于减少计算复杂性的知识表达。建设“Seminar 式研讨厅”, 可以充分利用最新 C^3I 建模技术提供的“建筑材料”。“Seminar 研讨厅”的一种简化形象可如图所示。

钱学森的系统科学与系统工程学术思想, 使人们坚信复杂巨系统具有数学的和经验的本质, 从而推动人们去寻求数学与经验相结合的解答。



钱学森关于开放的复杂巨系统的研究

于景元

(北京信息与控制研究所、学会副秘书长)

今年 10 月 16 日, 国务院、中央军委颁布命令, 授予钱学森“国家杰出贡献科学家”荣誉称号, 以表彰他在发展我国科技和国防科技事业中作出的巨大贡献。今天是钱老 80 岁生日, 中国系统工程学会举办钱学森系统科学思想讨论会, 使我们有机会学习和交流钱学森的系统科学思想, 理论和方法。因此, 这是一次很有意义的学术活动。

几十年来, 钱学森在应用力学、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多个科学领域, 都作出了重大贡献^①。钱学森是我国系统工程和系统科学事业的开拓者和奠基者, 他在这方面发表了大量文章和著作^②。最近几年, 在系统科学理论方面, 钱学森提出了开放的复杂巨系统的概念及其方法论, 这些研究不仅具有重大的理论价值, 同时对实践也有重要的指导意义。我想对此作些介绍, 如有不妥之处, 敬请各位同行批评指正。

一、钱学森的系统科学体系

钱学森提出现代科学技术体系是一个矩阵式结构, 横向目前有十大科学技术部门, 纵向上每个部门

①王寿云等:《中国现代科学家传记》, 第一集, P767-802, 科学出版社, 1991年。

②钱学森等:《论系统工程》, 湖南科学技术出版社, 1988年。

又有三个层次：即工程技术、技术科学和基础科学。系统科学是十大科学技术部门之一，因而也有三个层次：处在工程技术层次上的是系统工程；处在技术科学层次上的有运筹学、控制论、信息论等；处在基础科学层次上的是系统学（Systematology）。这就是钱学森建立的系统科学体系，他还明确指出，沟通马克思主义哲学和系统科学体系之间的桥梁就是系统论。

钱学森对这个体系中的控制论、系统工程和运筹学都作出过直接的重要贡献。同时也正是他首先提出建立系统学这门新学科。按照钱老的思想，系统学是研究系统结构与功能（包括演化、协同和控制）一般规律的科学。他还多次指出如何建立系统学，并亲自指导了“系统学讨论班”的学术活动。在这个讨论班上，钱学森发表了很多重要的科学思想，提炼了许多重要概念，总结和概括出系统的研究方法，下面介绍的关于开放的复杂巨系统研究，仅是其中之一。

二、关于开放的复杂巨系统

已有的系统分类，虽然比较直观，但着眼点却过分放在系统的具体内涵上，这样反而失去了系统本质。钱老恰恰抓住这个本质问题，提出了系统新的分类。根据组成系统的子系统数量和种类的多少，以及它们之间关联系统的复杂程度，钱学森把系统分为简单系统和巨系统两大类，在巨系统中又分为简单巨系统和复杂巨系统，这些系统又都是开放的，所以又称作开放的复杂巨系统。其中，以有意识活动的人作为子系统的社会系统最为复杂，因而又称作特殊的复杂的巨系统。其它的开放的复杂巨系统有：生物体系统、人脑系统、人体系统、地理系统、星系系统等。开放的复杂巨系统的重要特征之一，就是它们都有层次结构。在①中钱老指出“开放的复杂巨系统有许多层次。这里所谓的层次是指从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系统结构的层次。”

系统的上述分类，清晰地刻划了系统复杂性的层次，这在系统科学理论和应用中具有重大意义。例如，在国外，把一个层次的问题，如混沌，即使是混沌中比较复杂的问题，象无穷维的 Navier-Stokes 方程所决定的湍流，自旋玻璃等，他们都叫作复杂性问题。但钱老认为，这种所谓“复杂性”并不复杂，还是属于有路可循的简单性问题，属于简单巨系统。

上述不同类型的系统，还意味着有不同的研究方法论。钱学森指出：对简单系统，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。这可以说是直接的作法，没有什么曲折，还可以借助于大型计算机或巨型计算机。

对简单巨系统，因为子系统数量非常多，如激光系统，应用简单系统的方法处理不行了，就连巨型计算机也不够用了。直接综合的方法不行，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。这就是 I. Prigogine 和 Haken 的贡献，也就是所谓的自组织理论。

那么，研究开放的复杂巨系统（包括社会系统）的方法论是什么呢？钱老指出，对于这样的系统，用还原论的方法去处理就不行了（对于一个层次的系统，还原方法还是适用的）。因为从可观测的整个系统到子系统层次很多，中甸的层次又不完全清楚，甚至有几个层次都不清楚。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叠加。

钱学森对复杂巨系统研究的重要贡献就是他在以下四个开放的复杂巨系统研究实践的基础上，提炼、概括和抽象出来“从定性到定量的综合集成方法”②。作为一项技术又称为综合集成技术，而作为一门工程可称作综合集成工程。这四个开放的复杂巨系统就是：

- 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；

①钱学森：再谈开放的复杂巨系统，《模式识别与人工智能》，No.1，1991。

②钱学森、于景元、戴汝为：一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论，《自然杂志》，No.1，1990。

- 3) 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科学的工作;
- 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相结合, 形成和提出经验性假设(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(如同在自然科学中所作的那样)。只是在有了现代计算机技术后, 可以基于统计数据和各种信息资料, 建立起包括大量参数的模型, 而这些模型也必须建立在经验和对系统的实际理解上, 经过计算机仿真和计算, 对经验性假设的确实性进行检测。经过计算得到的定量结果, 再由专家分析、综合和判断, 这里包括了感性的、理性的、经验的、科学的、定性和定量的知识的综合集成。通过这种人-机交互、反复对比逐次逼近, 最后形成结论, 实现从感性到理性、由定性到定量的转化。这样的结论就是现阶段对客观事物认识的科学结论。综合集成方法的实质是将专家群体(与所研究问题有关的专家)、统计数据和信息资料(也与研究问题有关)、计算机三者有机结合起来, 构成一个高度智能化的人机交互系统, 它具有综合集成各种知识, 从感性上升到理性、实现从定性到定量的功能。从思维科学角度看, 这个方法充分体现了辩证思维和社会思维的特点。此外, 它还具有以下特点:

- 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, 这就是钱老所说的“综合集成定性认识达到整体定量认识的方法”。
- 2) 把科学理论性经验知识结合起来。经验知识不属于科学理论范畴, 但对解决复杂性问题, 只有科学理论还嫌不足, 需要经验知识, 把人们对客观事物星星点点的知识综合起来解决问题。
- 3) 根据系统思想, 把多种学科结合起来进行综合研究;
- 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;
- 5) 应用这个方法必须有大型计算机的支持。这个计算机系统不仅具有管理信息系统(MIS)、决策支持系统(DSS)的功能, 而且要有综合集成功能, 这就要用到知识工程、人工智能、信息技术等高、新技术。

实践已经证明, 综合集成方法是现在能用的、唯一有效的处理开放的复杂巨系统的方法论。

近几年, 国外有人提出综合分析方法(Meta-Analysis), 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, 而综合集成方法却是真正的 Meta-Synthesis。

钱学森指出, 开放的复杂巨系统目前还没有形成从微观到宏观的理论, 也没有从子系统相互作用出发构筑出来的统计力学。但有了研究这类系统的方法论, 也就可以逐步建立其理论。并指出, 要建立开放的复杂巨系统一般理论, 必须从一个一个具体的开放的复杂巨系统入手, 只有这样, 这些研究成果多了, 才能从中提炼出一般的开放的复杂巨系统理论。当年建立工程控制论就是采用的这个方法。

钱老还进一步指出, 在开放的复杂巨系统中, 实践经验和资料积累最丰富的是社会系统和人体系统。他对这两个系统, 已在进行理论概括。例如, 他曾指出, 开放的复杂巨系统的整体行为描述, 要用系统状态这个词(System State), 如有吸引子, 即系统态(System Eigenstate)。微观混沌(无序)宏观有序, 社会经济系统的“良性循环”、“协调发展”就是系统态。我国社会系统的系统态正在从改革前的系统态转化为改革开放后的系统态。

对于人体系统, 他指导陈信等同志更早的引入了这些概念^①。

钱学森非常重视马克思主义哲学对研究开放的复杂巨系统的指导作用。他指出, “研究开放的复杂巨系统要有正确的思想指导, 那就是马克思主义哲学思想的指导”^[3]。“因为研究开放的复杂巨系统, 当然要靠计算机, 靠知识系统、靠人工智能等技术手段, 但又不能完全依靠这些机器, 最终还要靠人, 靠人的智能。如果完全依靠机器能解决问题, 那就不是开放的复杂巨系统了。人的智慧是什么? 是马克思主义哲学, 哲学是人类知识的最高概括”。钱老特别重视“实践论”、“矛盾论”的指导作用, 他指出“这些指导, 对于我们研究开放的复杂巨系统是非常重要的。也就是我们要用正确的哲学思想来指导, 也要通过实践, 不断修改我们的理论, 因为我们处理的问题太复杂了”。“其中特别要防止的是头脑僵化, 自己形成一个概念就一成不变。开放的复杂巨系统是千变万化的, 我们要有这样的认识。”^[3]

^①陈信: 人体是个开放的复杂巨系统的概念及其方法论, 人体科学讨论会, 1991年。

三、复杂巨系统研究的理论、实践和现实意义

开放的复杂巨系统研究,开辟了一个科学新领域,在理论和实践上都具有重大意义。

1. 从上述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、天文学和社会科学等理论。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,也都或多或少地用本学科的各自语言,涉及到开放的复杂巨系统这一思想,如中医。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,开放的复杂巨系统概念的提出及其理论研究,不仅将要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。

在科学发展史上,一切以定量研究为主要方法和科学,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”。

德国著名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研究覆盖了这根链条。马克思早就预言“自然科学往后将会把关于人类的科学总结在自己的下面,正如同关于人类的科学把自然科学总结在自己下面一样,它将成为一门科学。”

开放的复杂巨系统研究及其方法论的建立,可以说,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和方法。

2. 综合集成方法是从整体上考虑并解决问题的方法论。如钱学森指出的“这个方法不同于近代科学一直沿用的培根式的还原论方法”,又说“这是在现代科学技术条件下,“实践论”的具体化”、“是认识方法论上的一次飞跃”。而且他还指出“从定性到定量综合集成方法的工作过程,是以“矛盾论”为指导思想的”,“例如在建立数学模型的曲折过程中,要发现主要矛盾及矛盾的主要方面。”

从科学和哲学角度看,这个方法使“人认识世界的能力登上了一个新台阶”。

从定性到定量的综合集成技术又是思维科学的应用技术。既要用到思维科学的成果,又会促进思维科学的发展。从技术角度看,综合集成技术也向计算机、网络和通信技术、人工智能技术、知识工程等提出了一些新的和高新技术问题。

钱学森还指出过,这项技术还可以用来整理千千万万零散的群众意见、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——社会主义建设方针、政策和发展战略,以至具体计划和计划过程的调节和调整时,就把多年来我们党提出的民主集中制原则,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。

3. 钱学森把开放的复杂巨系统的思想、概念和方法,应用到社会系统及其环境——地理系统的研究时,他根据马克思的社会形态概念,即任一个社会都有三种社会形态:经济的社会形态、政治的社会形态、意识的社会形态,明确提出,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)、精神文明建设(意识形态)和政治文明建设(政治形态)。社会主义文明建设,应是这三种文明建设的协调发展^①。这个结论无论在理论上、实践上以及现实中,都有重大意义。

在研究社会系统环境时,钱老又提出地理系统的概念,这要比国内外,经常使用的生态系统概念广泛得多,也深得多。同时,他还提出了地理科学体系,它是现代十大科学技术部门中的一个。在实践上又提出了地理建设问题^②。

这样,我国的社会主义建设,除了上述三个文明建设外,还应加上社会主义地理建设,而三个文明建设和地理建设也必须协调发展。

^①钱学森、孙凯飞、于景元:社会主义文明的协调发展需要社会主义政治文明建设,《政治学研究》,No.5,1989。

^②钱学森:天地生相互关系系统研究属于地球科学、人体科学与地理科学范畴,《现代化》,No.2,1990。

为了使三个文明建设之间以及与地理建设相互协调发展,以取得社会系统长期的和最好的整体效益,这就需要社会系统工程^①。社会系统工程是从整体上解决社会系统问题的技术方法。我国这些年进行改革开放的实践表明,无论是体制和机制、计划和规划、政策和战略等等,都需要总体分析、总体论证、总体协调、总体规划。所以,社会系统工程对我国的政策开放具有重要的现实意义。

4. 为了实现社会系统工程,促进决策科学化、民主化和现代化,钱学森曾多次提出建立总体设计部及其体系的建议。总体设计部是实现系统工程的实体机构,是处理开放的复杂巨系统的科学实践方法,具有重要的实际意义和现实意义。我国导弹和航天技术的伟大成就,已从实践上证明了总体设计部的科学性和可行性。它不同于资本主义国家的思想库,这些思想库正如外界报导的那样“他们将永远死死拽住政治家的衣袖,焦虑地徘徊在政府与大学之间”^②。

5. 近些年来,国外出现了风行一时的所谓“复杂性”研究。这是由于他们在实践中也遇到了复杂性困难,认识到还原论方法已行不通,企图探索新的方法。但议来议去不见解决困难的可行方法,甚至在他们那里,关于复杂性概念本身都是模糊不清的。钱学森曾明确指出,凡现在不能用还原论处理的,或不宜用还原论处理的问题,而要用或宜用新的科学方法处理的都是复杂性问题。复杂巨系统不论封闭的还是开放的都属此类。

复杂巨系统概念的提出,从系统科学角度给出了复杂性的具体和清晰的概念。而且,从以上讨论中可以看到,钱学森对如何处理这类系统提出了:

- 1) 在科学研究方法上,不是还原论方法而是从定性到定量的综合集成方法或信息综合集成技术;
- 2) 在技术方法上,不是简单性处理而是系统工程技术;
- 3) 在实践方法上,是总体设计部的系统实践方法。

这样,在科学、技术和实践的不同层次上,体现了研究、处理和解决复杂性问题的一整套方法论。这是钱学森在系统科学理论和应用上的重大贡献。而且正在努力把这套科学方法论运用到建设有中国特色的社会主义实践中去^③。

最后,让我们引用科学家传记中的一段话,作为本文的结尾:“钱学森是一位杰出的科学家、思想家。他把科学理论和火热的改造宏观世界的革命精神结合起来了。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。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。”

钱老关心系统科学研究所成长

成 平

(中国科学院系统科学研究所所长)

尊敬的钱老、各位领导、各位来宾:

今天我们在这里召开“钱学森系统科学与系统工程学术思想讨论会”。这是一个非常有意义的会议。钱老是我国有杰出贡献的科学家,是中国知识分子杰出代表,他的学术思想不仅在国内,而且在国际科学界都有广泛而深远的影响,我们深信钱老的学术思想对我国今后科学事业的发展,必将发挥更大的推动作用。

我作为系统所的一员,深深感受到钱老的学术思想,对我所的建立和发展产生了重要的影响,起了积极的推动作用。早在50年代,就是钱老的影响下,许国志教授在当时力学研究所创建了运筹学研究

^①于景元、王寿云、汪成为:社会主义建设的系统理论和系统工程,《科技日报》,1991年1月22日,23日。

^②世界各国的思想库,《参考消息》,1991年10月21-26日。

^③钱学森:我们要用现代科学技术建设有中国特色的社会主义,收在《九十年代科技发展与中国现代化》一书中, P5-25, 湖南科学技术出版社, 1991。