

## 钱学森和系统科学

今年12月11日是人民科学家钱学森百年诞辰纪念日。钱老一生对国家、对人民奉献甚多，作为学者，其最大的贡献是丰富了系统科学理论，率先提出并阐明了复杂系统科学的思想及其学科体系，这一理论已在中国得到了多方面的成功验证。为进一步弘扬钱学森系统科学思想，上海系统科学研究院不久前在沪召开研讨会，国内系统科学界诸多知名学者到会就钱学森系统科学的精髓、核心内容及其对当下社会经济发展诸多领域的价值等发表真知灼见。本刊特摘发研讨会上部分专家的观点，并藉此纪念钱老。——编者

### 大成智慧工程与大成智慧学

钱学森1992年11月13日在一次谈话中提出了大成智慧工程和大成智慧学的思想。他认为，我们现在搞的从定性到定量综合集成技术，是要把人的思维，思维的成果，人的知识、智慧及各种情报、资料、信息统统集成起来，可以叫大成智慧工程。中国有集大成之说，集其大成出智慧。将这一工程进一步发展，在理论上提炼成一门学问，就是大成智慧学，是如何使人获得智慧与知识，提高认识世界和改造世界能力的学问。大成智慧学与以往关于智慧或思维学说的不同在于：它是马克思主义辩证唯物论为指导，利用信息网络，以人-机结合的方式，集古今中外智慧之大成的学问。大成智慧现在提出来，是有技术基础的，这就是信息革命。

这样的大成智慧工程，实际上是把计算机通过信息网络的信息处理，与集体人脑思维的信息处理，两者紧密结合起来，形成一个人工的开放复杂巨系统。在这个知识系统中，通过各种信息和生动的形象以及模拟的预想现象等，可以拓宽人们的视野，使人接触到广泛的世界，更准确地把握各种复杂巨系统的微观与宏观、现象与本质、相对稳定与持续发展的内在规律等。

大成智慧工程，其实质是第五次产业革命（信息革命）和科学技术体系的构建，形成了人机结合的思维体系。这个思维体系的主要特点是什么？作为思维体系，其特点首先应体现为思维的特性，钱学森就此从智慧的形成提出了重要的创见。钱学森很重视熊十力的“性智”和“量智”的概念。熊十力认为，人的智慧有两个方面：文化、艺术方面的智慧叫“性智”；科学方面的智慧叫“量智”。钱老说：“这样看来，我过去说的科学技术体系属‘量智’；而文化体系属‘性智’。”他从智慧的形成进一步提出：“科学技术体系中从自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、人体科学、思维科学、军事科学、行为科学到地理科学这9大部门都由量智与性智建立起来的，但表现出来的则是量智。而文艺这一部门与众不同，虽然也是由性智与量智并用的，但表现出来的则是性智。这就是文艺和美学的特点，与众不同。当然，从发展和深化了的马克思主义哲学来看，从大成智慧学的角度来看，这十大部门又是统一的。这就是大成智慧学的威力！”

钱学森在2001年3月20日接受文汇报记者采访时说：“结合现代信息技术和网络技术，我们将能集人类有史以来的一切知识、经验之大成，大大推动我国社会物质文明和精神文明建设的发展，实现古人所说‘集大成，得智慧’的梦想。智慧是比知识更高一个层次的东西了。如果我们在21世纪真的把人的智慧都激发出来，那我们的决策就相当高明了。”

顾基发（国际系统研究联合会原主席，中国系统工程学会原理事长，国际系统与控制研究院院士）

### 当代系统思想的新范式和智慧结晶

钱学森系统科学思想的形成和发展大体可分为三大阶段：第一阶段从上世纪50年代到70年代末，这一阶段的思想内涵集中体现于《工程控制论》和《组织管理的技术——系统工程》；第二阶段的创新发展凝结在1990年发表的《一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》；第三阶段的深化研究，标志是2001年发表的《以人为主发展大成智慧工程》。

20 世纪中叶,由于生产力的巨大发展,出现了许多大型、复杂的工程技术和经济社会的问题,它们都以系统的面貌出现,都要求从整体上加以优化解决。1954 年钱学森撰写的《工程控制论》,以及 1948 年到 1957 年发表的《论技术科学》,不仅是对系统科学发展的重大贡献,也鲜明体现出这些时代精神。

1955 年回国后,钱学森在“两弹一星”巨大科技工程中作出的杰出贡献,以及 1978 年在文汇报上发表的总结性的文献《组织管理的技术——系统工程》,都显示出那个不平凡年代里艰苦奋斗、自力更生、自主创新的时代精神。

上世纪 80 年代和 90 年代,是我国改革开放与快速发展的年代,也是世界各国走上全球化、信息化、网络化的年代,世界科学技术发展趋势越来越向学科交叉,文化融合,超越还原论,研究系统复杂性发展。钱学森在这 20 多年里,提出了原创性的“开放的复杂巨系统及其方法论”,提出了“大成智慧工程和大成智慧学”,也显示了当代科学发展的特征。

钱学森在 2001 年曾说:“23 年来,系统工程和系统科学已经有了很大发展,我们已经从工程系统走到了社会系统,进而提炼出开放的复杂巨系统的理论和处理这种系统的方法论,即以人为主、人-机结合,从定性到定量的综合集成法,并在工程上逐步实现综合集成研讨厅体系。将来我们要从系统工程、系统科学发展到大成智慧工程,要集信息和知识之大成,以此来解决现实生活中的复杂问题。”

2005 年钱老寄语系统科学工作者和科技界:“今天的科学已经不是自然科学那一点东西,而是人类认识客观世界、改造世界的整个知识体系。希望大家能用这样一个体系,去观察、分析、研究和解决问题,而不仅仅是用几门学科的知识或者这些学科的交叉。若能这样,那就厉害喽。”

人类历史发展到上世纪中叶,系统思想经历了从经验到哲学到科学、从思辨到定性到量的发展,这个趋势还将继续下去。综观钱学森系统科学思想发展过程的时代背景,及其主要内涵和特色,使我们认识到:钱学森系统科学思想是在全球化、信息化、网络化时代,中西文化交融的复杂系统思想,是当代系统思想的一种新范式和智慧结晶。我们要深入学习弘扬钱学森系统科学思想,为造福国家、造福人类作出更大贡献。

郭雷(中科院院士、中科院数学与系统科学研究院院长,上海系统科学研究院院长,国务院学位委员会委员)

#### 系统科学的基础理论

自上个世纪 80 年代初开始,钱学森先生就把主要精力投入到学术研究之中,致力于发展系统科学的基本理论。钱学森指出,创建系统学是发展整个系统科学学科体系的基础,“创建系统科学的基础理论——系统学已经是时代给我们的任务。你不把这门学问搞清楚,把它建立起来,你就没有一个深刻的基础认识。”“我觉得系统学的建立,实际上是一次科学革命,它的重要性绝不亚于相对论或量子力学。”因此,他积极倡导和推动创建系统学的工作,在发展系统科学基本理论这一学术方向上,作出了许多建设性的贡献,概括起来包括以下几个方面:

(1) 明确界定了系统学的学科性质。指出系统学是研究系统结构与功能(系统的演化、协同与控制)一般规律的科学,是研究系统一般规律的基础科学。

(2) 提出了建立系统学的基础和途径。钱学森强调,系统学的任务在于从组成系统的单元的性能和相互作用推导出整个系统的结构(有序化)及功能。发展系统科学基本理论,需要从各相关学科的发展中去综合、抽象和提炼,除了需要从系统工程实践以及运筹学、控制论、信息论等这些系统科学体系内的技术科学去提炼、概括以外,还需要从自然科学中的物理学、化学、生物学等学科中汲取素材,特别是与系统的演化与协同有关的自组织理论、非线性系统动力学、超循环理论等,它们都揭示了许多系统规律。

(3) 强调了系统科学基本理论的几个重要概念,包括:结构与功能的关系和层次性。

(4) 指出了具体的研究内容和方向。例如,地球上生命演化过程。他指出,“从无生命到有生命,然后进一步的生命演化现象,这里面有过程演化的大量素材,也有许多没有解决的问题,

是系统学的一个可用武之地”。钱学森先生还指出：脑科学、思维科学，以及心理学基本理论的突破在于找出人体巨系统的规律，这完全得靠系统学。同时，从大脑到思维的关键问题是从神经元的微观到思维这一宏观现象，应该强调网络或系统的整体作用。在更宏观的尺度上，地理科学也必须用系统科学的方法，从系统的角度考虑地球表层与人类社会活动的相互影响。

钱学森指出，开放复杂巨系统的行为需要一个新的概念来描写。他提出：“开放的复杂巨系统的整体行为描述，要用系统状态(system state)这个概念，如有奇异吸引子，即为系统态(system eigenstate)。微观混沌(就其无序意义来说)是宏观有序的基础。社会经济系统的‘良性循环’、‘协调发展’就是一种系统态。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。”钱学森对于“系统态”这个概念，非常重视，他说：“这样‘开放复杂巨系统学’有了第一步了！”

方福康(国务院学位委员会原委员兼一级学科系统科学评议组召集人,北京师范大学原校长、教授)

弘扬钱学森系统科学思想是上海系统工程界的历史使命

在钱老的支持下，上海理工大学与中科院数学与系统科学研究院于2005年1月联合组建了“上海系统科学研究院”，六年多来在联合全国系统科学界同仁推动系统科学学科建设、弘扬钱学森系统科学思想方面做了一系列工作。

上海系统工程学会多年来大力开展系统工程的研究和应用，特别重视研究和弘扬钱学森系统科学思想。在《2008~2009系统科学与系统工程学科发展报告》中，全面总结了我国和上海市在钱老直接推动下，在钱学森系统科学思想的启迪和引导下，建设系统科学与系统工程的成就和经验。在《2010~2011上海市系统科学与系统工程学科发展报告》中，系统研究了钱学森系统科学思想的形成、发展和意义，系统阐述了钱学森系统科学思想的主要内涵，有力推动了学习弘扬钱学森系统科学思想的开展。

进入21世纪以来，国际科技界奏起了一个新旋律——复杂系统研究。2003年美国教育部在全国范围，对“复杂性科学的应用”进行了全面系统的调研。2003年开始，美国在每年的高峰论坛及其文集《工程科学前沿》中，刊载复杂系统研究论文，2005年特别刊载了“复杂系统工程”专题一组文章。2006年欧洲复杂系统学会发布了《欧盟复杂系统研究路线图2007-2013》，文章提出，复杂系统科学将是21世纪的核心科学。2007年2月，英国皇家工程院和英国医学科学院共同发布了题为《系统生物学：一个工程和医学新视角》的长篇研究报告。2009年9月由美国普林斯顿和麻省理工等十所著名高校联合组成“美国网络科学与工程委员会”，并提出“网络科学与工程研究路线图”。这些信息显示出复杂系统研究已进入国际科技前沿的重要地位。发达国家在发展系统科学方面，已在宏观层面采取实质行动。

我国应发挥已有的优势，在弘扬钱学森系统科学思想的基础上，走在世界复杂系统研究的前面。

钱学森开拓创建系统科学的过程，始终紧密联系我国社会主义现代化建设，紧密联系国内外科学技术的发展，始终强调“要从整体上考虑并解决问题”，因此，钱学森系统科学思想不仅是有重要意义的理论创新，更有其重要的现实指导意义。

上海已经为系统科学与系统工程的发展作出了历史的贡献，上海系统科学与系统工程界的同仁有责任，今后更好地肩负起弘扬钱学森系统科学思想的历史使命，深入学习研究钱学森系统科学思想，为上海和国家的社会主义现代化建设做出新的成绩。

许晓鸣(上海系统科学研究院院长,中国系统工程学会副理事长,上海市系统工程学会理事长,上海理工大学校长、教授)

发展系统科学中国学派

关于形成和发展系统科学的中国学派，钱老认为包括他自己在内的一些中国学者几十年来就是在努力做这件事，他在1994年11月13日致许国志的信中就说：“毛主席早在1956年就指出：

‘在自然科学方面，我们也要做独创性的努力，并且要用近代外国的科学知识和科学方法来整理中国的科学遗产，直到形成中国自己的学派。’我们中国人在系统科学不是这样干的吗？从外国50年代初的 operational research 到运筹学，从运筹学、信息论到系统工程，到系统科学。形成系统科学的三个层次，概括为系统论，最后上升到马克思主义哲学。又引用中国古代整体观，创立了开放复杂巨系统学、从定性到定量综合集成法等等。您都参加了这些工作，有贡献！我们都在做毛主席要我们做的事：形成中国自己的学派！您和我都还要继续努力啊！”

上世纪以来，系统科学研究已经形成了一些有重大影响的理论和有特色的研究“学派”。其中有以非线性自组织理论为基本内容的“欧洲学派”；以复杂自适应理论为代表的“美国学派”；以开放的复杂巨系统理论为代表的“中国学派”。

欧洲学派是以普利高津、哈肯及其学派为研究主体的。他们把物理系统和化学系统的自组织理论(耗散结构理论、协同学)严密化、体系化，同时努力使这些理论普适化，拓展到生物系统、经济系统和社会系统。他们非常重视吸收和运用非线性科学的成果，许多定量分析、概念和方法是和非线性科学相同的。

美国学派其主要研究基地是美国的圣菲研究所。CAS(复杂适应系统)理论是1994年霍兰提出的。他们把系统元素理解为“活的”、具有主动适应能力的主体，引进了宏观状态变化的“涌现”(emergence)概念，从而对从简单中能够产生复杂的观念进行了逻辑性的阐述。

以钱学森为代表的中国系统科学工作者，提出了开放的复杂巨系统及其方法论，把研究基点放在“人的因素”上，就是说放在以人为元素的系统或者有人的因素的系统。开放的复杂巨系统的四类典型系统：地理与生态环境系统、社会经济系统、人体系统、人脑系统，其共同特点是都涉及生命现象，而且是涉及人的高级生命现象。人具有意识，人的主动性的本质，体现在能动地认识世界和改造世界；人，不仅有自然属性，还有社会属性和精神属性。钱学森对于“人具有意识”特别重视。

由于人的因素极端复杂，开放的复杂巨系统的研究，目前还没有形成从微观到宏观的理论，但有了研究这类系统的方法论，就是钱学森与其合作者提出的“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”。这是方法论上的创新，给出了研究和解决复杂巨系统和复杂性问题的有效途径。

汪寿阳(中国系统工程学会理事长，中科院数学与系统科学研究院副院长、研究员)

现代科学技术体系与知识系统工程

现代科学技术体系的建立是钱学森用马克思主义哲学做指导总结出来的。早在1957年，他发表了一篇重要文章，题为“论技术科学”。文章阐述了科学领域中三个层次的观点，即基础理论、技术科学、应用技术三个层次，并以自己亲身参与美国应用力学发展的深刻体会，论述了技术科学的重大意义与作用。回国后，又经过20多年从事航空航天技术的实践与经验积累，于20世纪80年代初把原来人们心目中的自然科学和社会科学两大部门，先后加上数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、地理科学、军事科学、行为科学、建筑科学和文艺理论，扩展到11个，形成一个体系。

钱学森的系统思想在科学技术体系中的体现，最核心之处是：基于各门科学研究的对象都是统一的物质世界，区分只是研究的角度不同。这就从根本上沟通了以往各门学科之间原本是一体的关系，也必然使辩证唯物主义与各门科学内在地、紧密地熔铸在一起。从这个观点来看，自然科学是从物质在时空中的运动、物质运动的不同层次、不同层次的相互关系这个角度来研究客观世界的；社会科学是从人类社会运动以及它和客观世界相互影响这个角度来研究客观世界；数学科学是从质和量的对立统一、相互转变的角度来研究客观世界的。

整个体系纵向分为三大层次，最高层次是马克思主义哲学，即辩证唯物主义，最下面的层次是现代科学技术的十一大部门，其间通过十一架“桥梁”把马克思主义哲学与十一大科学技术部门联在一起。

在体系的外围,还有未形成科学体系的实践经验的知识库以及广泛的、大量成文或不成文的实际感受,如局部的经验、专家的判断、行家的手艺等也都是人类对世界认识的珍宝,不可忽视。

按照钱老的现代科学技术体系,我们提出建立知识系统工程学科。知识系统工程把对知识管理的重点放在信息管理上、重点放在人的管理上和着眼于知识资产的研究这几条主线进行集成。知识系统工程学科另一个特点是可以把知识运作和知识管理有机地集成起来。

知识管理与创新研究是当前管理学科的重点之一。我们通过建立知识系统工程学科来研究和实现知识的有效应用和创新,希望通过学科的交叉与融合推动知识学科的建立和应用。多年来我们按照这一思路建立了学科的构架,研究了有关的理念、方法和工具,开发了一批知识管理系统。但为了迎接未来的挑战,还有大量工作要做,我们还需要奋力工作,以不辜负钱老生前对学科发展的期望。

王众托(中国工程院院士,中国系统工程学会原副理事长,大连理工大学知识科学与技术研究中心主任)

#### 开放的复杂巨系统及其方法论

系统科学以系统为研究对象,而系统在自然界和人类社会中是普遍存在的。例如,按照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,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,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。还可将系统划分为物理系统、生物系统、生态环境系统等。

从组成系统的子系统以及子系统种类的多少,以及它们之间关联关系的复杂程度来看,简单系统是指组成系统的子系统数量比较少,它们之间的关系比较单纯。某些非生命系统,如一台测量仪器,这就是小系统。如果子系统数量非常大(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。

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、星系系统和信息网络系统等。这些系统无论在结构、功能、行为和演化方面,都很复杂,以至到今天,还有大量的问题,我们并不清楚。

20世纪80年代末到90年代初,钱学森先后提出“从定性到定量综合集成方法”及其实践形式“从定性到定量综合集成研讨厅体系”。

从定性到定量综合集成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: ,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; ,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; ,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。

于景元(国务院学位委员会原委员兼一级学科系统科学评议组成员,中国航天科技集团公司710研究所科技委主任、研究员)

#### 系统工程引导我国管理教育健康发展

1978年9月,钱学森、许国志、王寿云在文汇报发表长篇文章“组织管理技术——系统工程”,该文的最后一部分专门谈组织管理的人才问题,明确提出要办组织管理方面的高等院校,建议恢

复工程院校原有的工业企业管理课,举办理工结合的组织管理科学技术大学,不是办一所或几所,而是要办几十所至上百所。钱学森从系统观剖析管理学科的知识域,认为管理学科发展需要和理工密切结合。这种特色符合管理学科发展的规律。

钱学森看得很清楚,管理是一门科学,又是一门艺术,从思维角度来说,管理者既要运用逻辑思维又要运用形象思维,所以,他提出解决复杂系统问题的方法是“从定性到定量综合集合方法”,即是说,以形象思维为主的经验判断(体现艺术)到以逻辑思维为主的精密论证过程(体现科学)。

钱学森按照他的工程技术-技术科学-基础科学的科学技术体系结构理论,从系统观来审视并创新性地提出管理学科的知识构架。他把系统工程即组织管理技术列为工程技术层次。工程技术的理论基础是技术科学,作为系统工程基础理论的技术科学便是运筹学。系统学则属于基础科学层次。

按钱学森的观点,组织管理技术要讲求它的“实践性和实际效果,按具体的环境和条件解决实际问题。”“要具体、要可行的措施,也就是实干。”他不同意把系统工程称作系统工程学,原因之一是“想强调系统工程是要改造客观世界的,是要实践的。”因此,要提高组织管理效率,只有原则,设想还不够,要“把传统的组织管理工作总结成科学技术,并使之定量数值化”,要有可以分析一个系统的科学方法和技术。

钱学森认定运筹学是系统工程的共同理论基础,属于技术科学层面的学科,它“包括系统工程的特有数学理论:线性规划、非线性规划、博弈论、排队论、库存论、决策论、搜索论”等,并指出“除了运筹学,系统工程的共同理论基础还有计算数学”,此外,每门系统还有其特有的专业理论基础,如工程系统工程的特有专业基础是工程设计,企业系统工程是生产力经济学等。

钱学森从系统观出发为组织管理学科梳理出的三层次的知识结构,对于组织管理学科的知识域给出清晰的界定。今天重温钱老关于系统工程和组织管理和各种论说,不仅是缅怀他的功绩,更重要的是要深入学习和研究钱学森关于系统工程-运筹学-系统学三层次科学技术体系的思想,因为它指明了中国管理学科的发展空间和前景。

汪应洛(中国工程院院士,国务院学位委员会一级学科管理科学与工程评议组原召集人,西安交通大学管理学院名誉院长、教授)