

钱学森与系统科学

于景元 中国航天系统科学与工程研究院

系统科学是现代科学技术体系中一个新兴的科学技术部门，并在迅速发展之中，而且越来越显示出其强大生命力。

钱学森是我国系统科学的开创者和奠基人。钱老虽然离开了我们，但他的科学创新精神却依然活在人们心中，特别是钱学森科学思想和科学成就是留给我们的宝贵财富，我们应该认真学习和研究。

钱学森的一生是科学的一生、创新的一生和辉煌的一生。在长达70多年丰富多彩的科学生涯之中，钱学森建树了许多科学丰碑，对现代科学技术发展和我国社会主义现代化建设作出了巨大贡献。

钱老对我国火箭、导弹和航天事业的开创性贡献，是众所周知的，人们称他为“中国航天之父”。但从钱学森的全部科学成就和贡献来看，这只是其中一部分。钱老的研究领域非常广泛，从工程、技术、科学直到哲学的不同层次上，在跨学科、跨领域和跨层次的研究中，特别是不同学科、不同领域、不同层次的相互交叉、结合与融合的综合集成研究方面，都作出了许多开创性贡献。这些方面的科学成就与贡献，从现代科学技术发展趋势来看，其意义和影响可能更大、也

更深远。

钱学森的系统科学成就和贡献就是其中的重要方面。

从现代科学技术发展的特点来看，以下几个主要方面都与系统科学密切相关：

1. 现代科学技术发展呈现出既高度分化又高度综合的两种明显趋势

一方面已有的学科和领域越分越细，新学科新领域不断产生；另一方面是不同学科、不同领域相互交叉、结合与融合，向综合集成的整体化方向发展，这两者是相辅相成，相互促进的。系统科学就是后一发展趋势中的科学技术。

2. 复杂性科学的兴起引起国内外的高度重视
20世纪80年代中期，国外出现了复杂性研究。复杂性研究和复杂性科学也处在高度综合这个趋势中，与系统科学有着密切的关系。

复杂性研究和复杂科学的开创者之一默里·盖尔曼（Murray Gell-Mann），在他所著的《夸克与美洲豹》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联系起来，有些事实和想法初看起来彼此风牛马不相及，但新的方法却很容易使它们发生关联”。

盖尔曼在他的书中并没有说明这个新途径和新方法是什么,但从他后来关于复杂系统和复杂适应系统的研究中可以看出,这个新途径就是系统途径,这个新方法就是系统方法。

3. 科学方法论的发展

从近代科学到现代科学的发展过程中,科学方法论经历了:从还原论方法到整体论方法再到系统论方法。系统论方法的产生与系统科学的出现和发展紧密相关。

4. 以计算机、网络和通信为核心的现代信息技术革命,改变了人类思维方式,出现了人-机结合、以人为主的思维方式,这种思维方式比人脑思维具有更强的思维能力和创造性,人类更加聪明了,有能力去认识和处理更加复杂的事物。这种思维方式也为系统论方法提供了理论基础和技术基础。

5. 创新方式的转变

由以个体为主向以群体为主的创新方式转变,出现了创新体系,特别是国家创新体系已成为创新驱动发展的强大动力。

6. 现代社会实践越来越复杂,越复杂的社会实践其综合性和系统性就越强,因而也就更加需要系统科学和系统工程。

钱学森系统科学思想和系统科学体系集中地体现出以上这些特点。

一、钱学森系统科学思想和系统科学体系的形成与发展

系统科学思想一直贯穿于钱学森的整个科学历程。

大家知道,钱老在美国学习和工作了20多年(1935-1955),主要从事自然科学技术研究,特别是在应用力学、喷气推进以及火箭与导弹研究方面,取得了举世瞩目的成就,同时还创建了“物理力学”和“工程控制论”,成为国际著名

科学家。

需要强调指出的是,工程控制论已跨出了自然科学领域,而属于钱老后来所建立的系统科学体系,并为创建系统科学体系提供了理论基础。

自然科学是从物质、物质结构和物质在时空中运动的角度来研究客观世界的。但工程控制论要研究的并不是物质运动本身,而是研究代表物质运动的事物之间的关系,研究这种关系的系统性以及如何控制系统使其具有我们期望的功能。因此,系统和系统控制是工程控制论所要研究的基本问题。

钱老创建工程控制论这个事实表明,在这个时期,钱老已开始进行跨学科、跨领域的研究并取得重要成就。《工程控制论》一书的出版(1954年出版英文版,Engineering Cybernetics),在国际学术界引起了强烈反响,立即被译成多种文字出版发行(俄、德、中)。工程控制论所体现的系统科学思想、理论方法与应用,直到今天仍然深刻地影响着系统科学、控制科学、管理科学等有关学科的发展。

1955年钱老回到了祖国,从这时起他的主要精力集中在开创我国火箭、导弹和航天事业上。在周恩来、聂荣臻等老一辈无产阶级革命家的直接领导下,钱老的科学才能和智慧得以充分发挥,并和广大科技人员一起,在当时十分艰难条件下,研制出我国自己的导弹和卫星来,创造出国内外公认的奇迹。

以导弹、卫星等航天科技为代表的大规模科学技术工程,如何把成千上万人组织起来,并以较少的投入在较短的时间内,研制出高质量、高可靠的型号产品来,这需要有一套科学的组织管理方法与技术。当时这是一个十分突出的问题。

钱老在开创我国航天事业的过程中,同时也开创了一套既有普遍科学意义、又有中国特色的

系统工程管理方法与技术。

当时，在研制体制上是研究、规划、设计、试制、生产和实验一体化；在组织管理上是总体设计部和两条指挥线的系统工程管理方式。实践已证明这套组织管理方法是十分有效的。

从今天来看，就是在当时条件下，把科学技术创新、组织管理创新与体制机制创新有机结合起来，实现了综合集成创新，从而走出了一条发展我国航天事业自主创新和协同创新的道路。我国航天事业一直在持续发展，其根本原因就在于自主创新和协同创新。

航天系统工程的成功实践，证明了系统工程技术的科学性和有效性，中国航天事业的成功也是系统工程的胜利，它不仅适用于自然工程，其原理也同样适用于社会工程，从而开创了大规模工程实践的系统管理范例，对其他大规模工程实践也是适用的。系统工程的应用也是钱老对管理科学与工程的重大贡献。

航天系统工程的实践为钱老建立系统科学体系奠定了实践基础。

20世纪80年代初，钱老从科研一线领导岗位退下来以后，就把全部精力投入到学术研究之中。这一时期，钱老的学术思想之活跃，涉猎领域之广泛，原始创新性之强，在学术界是十分罕见的。

在这个阶段，钱老花费心血最多、也最有代表性的是建立系统科学体系和创建系统学的工作。在创建系统学的过程中，提出了开放的复杂巨系统及其方法论，由此又开创了复杂巨系统科学与技术这一新的科学领域，并把系统科学体系推向了复杂巨系统科学体系。

这些成就标志着钱学森系统科学思想和系统方法有了新的发展，达到了新的高度，进入了新的阶段。特别是钱学森综合集成思想与综合集成



方法，已贯穿于工程、技术、科学直到哲学的不同层次，形成了综合集成体系。

综合集成思想与综合集成方法的形成与提出，是一场科学思想和科学方法的革命，其意义和影响将是广泛而深远的。就现实而言，也有着极为重要的科学价值和实践意义。

钱学森指出，系统科学的出现是一场科学革命。科学革命是人类认识客观世界的飞跃，系统科学究竟是研究什么的学问，又为什么如此重要？

从辩证唯物主义观点来看，客观世界的事物是普遍联系的，正如马克思所说“世界是普遍联系的整体，任何事物内部各要素之间及事物之间都存在着相互影响、相互作用和相互制约的关系”。既然客观事物是普遍联系的整体，那就一定有其客观规律，我们也就应该研究、认识和运用这些规律。

能够反映和概括客观事物普遍联系这个事实与特征最基本和最重要的概念就是系统。所谓系统是指由一些相互联系、相互作用、相互影响的组成部分构成并具有某些功能的整体。这样定义的系统在客观世界是普遍存在的。客观世界包括自然、社会和人自身。马克思这里所说的客观世界是普遍联系的整体思想就是辩证唯物主义系统思想。

正是从系统思想出发并结合现代科学技术的发展，钱学森明确提出，系统科学是从事物的整体与部分、局部与全局以及层次关系的角度来研究客观世界的，也就是从系统角度研究客观世界。



图1 钱学森在系统学讨论班上

系统是系统科学研究和应用的基本对象。系统科学和自然科学、社会科学等不同，但有深刻的内在联系。系统科学能把自然科学、社会科学等领域研究的问题联系起来作为系统进行综合性、整体性研究。这就是为什么系统科学具有交叉性、综合性和整体性的原因。也正是这些特点，使系统科学处在现代科学技术发展的综合集成的整体化方向上，并已成为现代科学技术体系中一个新兴的科学技术部门。

系统结构、系统环境和系统功能是系统的三个重要基本概念。系统结构是指系统内部，系统环境是指系统外部。系统的一个最重要的特点，就是系统在整体上具有其组成部分所没有的性质，这就是系统的整体性。系统整体性的外在表现就是系统功能。系统的这个性质意味着，对系统组成部分都认识了，并不等于认识了系统整体，系统整体性不是它组成部分性质的简单“拼盘”，而是系统整体涌现的结果。

系统研究表明，系统结构和系统环境以及它们之间的关联关系，决定了系统的整体性和功能，这是一条非常重要的系统规律。

从理论上来看,研究系统结构与环境如何决定系统的整体性和功能,揭示系统存在、演化、协同、控制与发展的一般规律,就成为系统学,特别是复杂巨系统学的基本任务。国外关于复杂性的研究,正如钱老指出的,是开放复杂巨系统的动力学问题,实际上也属于系统理论方面的探索。

另一方面,从应用角度来看,根据上述系统原理,为了使系统具有我们期望的功能,特别是最好的功能,我们可以通过改变和调整系统结构或系统环境以及它们之间的关联关系来实现。但系统环境并不是我们想改变就能改变的,在不能改变的情况下,只能主动去适应。而系统结构却是我们能够改变、调整、设计和组织的。这样,我们便可以通过改变、调整系统组成部分或组成部分之间、层次结构之间以及与系统环境之间的关联关系,使它们相互协调与协同,从而在系统整体上涌现出我们满意的和最好的功能,这就是系统组织管理、系统控制和系统干预(intervention)的基本内涵,是系统管理、系统控制等要研究的基本问题,也是系统工程、控制工程等所要实现的主要目标。

科学是认识世界的学问,技术是改造世界的学问,而工程是改造客观世界的实践。从这个角度来看,系统科学和自然科学等类似,也有三个层次的知识结构,即工程技术(应用技术)、技术科学(应用科学)和基础科学。在钱学森建立的系统科学体系中,包括:

1. 工程技术或应用技术层次上的是系统工程,这是直接用来改造客观世界的工程技术,但和其他工程技术不同,它是组织管理系统的技术;

2. 技术科学层次上直接为系统工程提供理论方法的有运筹学、控制论、信息论等;

3. 基础科学层次上、属于基础理论的便是系统学和复杂巨系统学。

目前国外还没有这样一个清晰的系统科学体系结构。

这样三个层次结构的系统科学体系经过系统论通向辩证唯物主义哲学。系统论属于哲学层次,是连接系统科学与辩证唯物主义哲学的桥梁。一方面,辩证唯物主义通过系统论去指导系统科学的研究,另一方面,系统科学的发展经系统论的提炼又丰富和发展了辩证唯物主义。

关于系统论,钱老曾明确指出,我们所提倡的系统论,既不是整体论,也非还原论,而是整体论与还原论的辩证统一。

钱老关于系统论的这个思想后来发展成为他的综合集成思想。根据这个思想,钱老又提出了将还原论方法与整体论方法辩证统一起来的系统论方法。

系统科学体系体现了钱学森的系统科学思想。

综合以上所述,客观事物普遍联系及其整体性思想就是系统思想,系统思想是辩证唯物主义哲学内容,系统科学体系的建立就使系统思想从一种哲学思维发展成为系统的科学体系,系统科学体系是系统科学思想在工程、技术、科学直到哲学不同层次上的体现。这就使系统思想建立在科学基础上,把哲学和科学统一起来了。

系统科学思想是钱老对辩证唯物主义系统思想的重要发展和丰富。

二、从系统科学到复杂巨系统科学

在系统科学体系中,系统工程已应用到实践中并取得显著成就,如航天系统工程;技术科学层次上的运筹学、控制论、信息论等也有了各自的理论和方法,并处在继续发展之中。但系统学和复杂巨系统学却是需要建立的新兴学科,这也

是钱老最先提出来的。

20世纪80年代中期，钱老以“系统学讨论班”的方式开始了创建系统学的工作。从1986年到1992年的7年时间里，钱老参加了讨论班的全部学术活动。

在讨论班上，钱老根据系统结构的复杂性提出了系统新的分类，将系统分为简单系统、简单巨系统、复杂巨系统和特殊复杂巨系统。如生物体系统、人体系统、人脑系统、地理系统、社会系统、星系系统等都是复杂巨系统。其中社会系统是最复杂的系统了，又称作特殊复杂巨系统。这些系统又都是开放的，与外部环境有物质、能量和信息的交换，所以又称作开放的复杂巨系统。

在讨论班的基础上，钱老明确界定系统学是研究系统结构与功能（系统演化、协同与控制）一般规律的科学，形成了以简单系统、简单巨系统、复杂巨系统和特殊复杂巨系统（社会系统）为主线的系统学基本框架，构成了系统学的主要内容，奠定了系统学的科学基础，指明了系统学的研究方向。

简单系统和简单巨系统都已有了相应的方法论和方法，也有了相应的理论并在继续发展之中，但复杂巨系统和社会系统却不是已有方法论和方法所能处理的，需要有新的方法论和方法。所以，关于复杂巨系统的理论研究，钱老又称作复杂巨系统学。

从近代科学到现代科学的发展过程中，自然科学采用了从定性到定量的研究方法，所以自然科学被称为“精密科学”。而社会科学、人文科学等由于所研究问题的复杂性，通常采用的是从定性到定性的思辨、描述方法，所以这些学问被称为“描述科学”。当然，这种趋势随着科学技术的发展也在变化，有些社会和人文学科逐渐向

精密化方向发展，如经济学、社会学等。

从方法论角度来看，在这个发展过程中，还原论方法发挥了重要作用，特别在自然科学领域中取得了很大成功。还原论方法是把所研究的对象分解成部分，以为部分研究清楚了，整体也就清楚了。如果部分还研究不清楚，再继续分解下去进行研究，直到弄清楚为止。按照这个方法论，物理学对物质结构的研究已经到了夸克层次，生物学对生命的研究也到了基因层次。毫无疑问这是现代科学技术取得的巨大成就。

但现实的情况却使我们看到，认识了基本粒子还不能解释大物质构造，知道了基因也回答不了生命是什么。这些事实使科学家认识到“还原论不足之处正日益明显”。这就是说，还原论方法由整体往下分解，研究得越来越细，这是它的优势方面，但由下往上回不来，回答不了高层次和整体问题，又是它的不足一面。所以仅靠还原论方法还不够，还要解决由下往上的问题，也就是复杂性研究中的所谓涌现问题。

著名物理学家李政道对于21世纪物理学的发展曾讲过：“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、大型量子态结合起来，这些很可能是21世纪的研究目标”。这里所说的把宏观和微观结合起来，就是要研究微观如何决定宏观，解决由下往上的问题，打通从微观到宏观的通路，把宏观和微观统一起来。

同样道理，还原论方法也处理不了系统整体性问题，特别是复杂系统和复杂巨系统（包括社会系统）的整体性问题。从系统角度来看，把系统分解为部分，单独研究一个部分，就把这个部分和其他部分的关联关系切断了。这样，就是把每个部分都研究清楚了，也回答不了系统整体性的问题。

更早意识到这一点的科学家是贝塔朗菲，他是一位分子生物学家，当生物学研究已经发展到分子生物学时，用他的话说，对生物在分子层次上了解得越多，对生物整体反而认识得越模糊。在这种情况下，于20世纪40年代他提出了一般系统论，实际上是整体论方法，强调还是从生物体系统的整体上来研究问题。但限于当时的科学技术水平，支撑整体论方法的具体方法体系没有发展起来，还是从整体论整体、从定性到定性，论来论去解决不了问题。正如钱老所指出的，“几十年来一般系统论基本上处于概念的阐发阶段，具体理论和定量结果还很少”。但整体论方法的提出，确是对现代科学技术发展的重要贡献。

20世纪80年代中期，国外出现了复杂性研究。关于复杂性问题，钱老指出：“凡现在不能用还原论方法处理的，或不宜用还原论方法处理的问题，而要用或宜用新的科学方法处理的问题，都是复杂性问题，复杂巨系统就是这类问题”。系统整体性，特别是复杂系统和复杂巨系统（包括社会系统）的整体性问题就是复杂性问题。所以对复杂性研究，国外科学家后来也“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。”

国外关于复杂性和复杂系统的研究，在研究方法上确实有许多创新之处，如他们提出的遗传算法、演化算法、开发的Swarm软件平台，基于主体（Agent）的系统建模，用主体描述的人工生命、人工社会等。在方法论上，虽然也意识到了还原论方法的局限性，但并没有提出新的方法论。方法论和方法是两个不同层次的问题。方法论是关于研究问题所应遵循的途径和研究路线，在方法论指导下的是具体方法问题，如果方法论不对，再好的方法也解决不了根本性问题。所以

方法论更为基础也更为重要。

如前所述，20世纪80年代初，钱学森明确指出系统论是整体论与还原论的辩证统一。根据这个思想，钱老又提出将还原论方法与整体论方法辩证统一起来，形成了系统论方法。在应用系统论方法时，也要从系统整体出发将系统进行分解，在分解后研究的基础上，再综合集成到系统整体，实现系统的整体涌现，最终是从整体上研究和解决问题。

由此可见，系统论方法吸收了还原论方法和整体论方法各自的长处，同时也弥补了其各自的局限性，既超越了还原论方法，又发展了整体论方法。这是钱学森在科学方法论上具有里程碑意义的贡献，它不仅大大促进了系统科学的发展，同时也必将对自然科学、社会科学等其他科学技术部门产生深刻的影响。

20世纪80年代末到90年代初，结合现代信息技术的发展，钱学森又先后提出“从定性到定量综合集成方法”（Meta-synthesis）及其实践形式“从定性到定量综合集成研讨厅体系”（以下将两者合称为综合集成方法），并将运用这套方法的集体称为总体设计部。这就将系统论方法具体化了，形成了一套可以操作且行之有效的方法体系和实践方式。从方法和技术层次上看，它是人-机结合、人-网结合，以人为主的信息、知识和智慧的综合集成技术。从应用和运用层次上看，是以总体设计部为实体进行的综合集成工程。

综合集成方法的实质是把专家体系，数据、信息与知识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-机结合与融合体系，这个体系具有综合优势、整体优势和智能优势。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、资料和信息统统集成起来，从多方面的定性认识上升到定量认识。

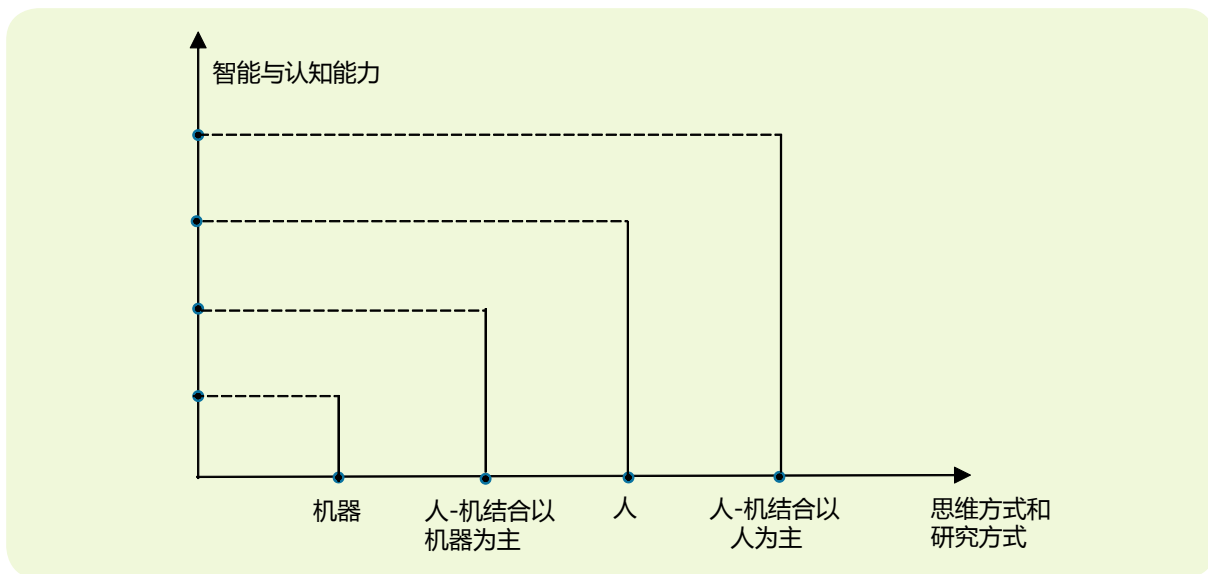


图2 思维方式和研究方式与认知能力的关系

钱老提出的人-机结合以人为主的思维方式是综合集成方法的理论基础。从思维科学角度来看，人脑和计算机都能有效处理信息，但两者有极大差别。关于人脑思维，钱老指出“逻辑思维，微观法；形象思维，宏观法；创造思维，宏观与微观相结合。创造思维才是智慧的源泉，逻辑思维和形象思维都是手段”。

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，已有许多科学成就证明了这一点，如著名数学家吴文俊的定理机器证明。但在形象思维方面，现在的计算机还不能给我们以很大的帮助。至于创造思维就只能依靠人脑了。然而计算机在逻辑思维方面毕竟有其优势。如果把人脑和计算机结合起来，那就更有优势，思维能力更强，人将变得更加聪明，它的智能和创造性比人要高，比机器就更高，这也是 $1+1 > 2$ 的系统原理（见图2）。

从上图可以看出，人-机结合以人为主的思维

方式，它的智能和认知能力处在最高端。这种聪明人的出现，预示着将出现一个“新人类”，不只是人，是人-机结合的新人类。

信息、知识和智慧是三个不同层次的问题。有了信息未必有知识，有了信息和知识也未必就有智慧。信息的综合集成可以获得知识，信息和知识的综合集成可以获得智慧。人类有史以来是通过人脑获得知识和智慧的。现在由于以计算机为主的现代信息技术的发展，我们可以通过人-机结合以人为主的方法来获得信息、知识和智慧，而且比人脑还有优势，这是人类发展史上具有重大意义的进步。

综合集成方法就是这种人-机结合以人为主获得信息、知识和智慧的方法，它是人-机结合的信息处理系统，也是人-机结合的知识创新系统，还是人-机结合的智慧集成系统。

按照我国传统文化有“集大成”的说法，即把一个非常复杂的事物的各个方面综合集成起来，达到对整体的认识，集大成得智慧，所以钱

老又把这套方法称为“大成智慧工程”。将大成智慧工程进一步发展，在理论上提炼成一门学问，就是大成智慧学。

从实践论和认识论角度来看，与所有科学研究一样，无论是复杂系统和复杂巨系统（包括社会系统）的理论研究还是应用研究，通常是在已有的科学理论、经验知识基础上与专家判断力（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，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。在自然科学和数学科学中，这类经验性假设是用严密逻辑推理和各种实验手段来证明的，这一过程体现了从定性到定量的研究特点。

但复杂系统和复杂巨系统（包括社会系统）由于其跨学科、跨领域、跨层次的特点，对所研究的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、不同学科的专家构成的专家体系，依靠专家群体的知识和智慧，对所研究的复杂系统和复杂巨系统（包括社会系统）问题提出经验性假设。

但要证明其正确与否，仅靠自然科学和数学中所用的各种方法就显得力所不及了。如社会系统、地理系统中的问题，既不是单纯的逻辑推理，也不能进行实验。但我们对经验性假设又不能只停留在思辨和从定性到定性的描述上，这是社会科学、人文科学中常用的方法。

系统科学是要走“精密科学”之路的，那么出路在哪里？这个出路就是人-机结合以人为主的思维方式和研究方式。采用“机帮人、人帮机”的合作方式，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。通过人-

机结合以人为主，实现信息、知识和智慧的综合集成。这里包括了不同学科、不同领域的科学理论和经验知识、定性和定量知识、理性和感性知识，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，从而对经验性假设正确与否做出科学结论。无论是肯定还是否定了经验性假设，都是认识上的进步，然后再提出新的经验性假设，继续进行定量研究，这是一个循环往复、不断深化的研究过程。

综合集成方法的运用是专家体系的合作以及专家体系与机器体系合作的研究方式与工作方式。具体来说，是通过定性综合集成到定性、定量相结合综合集成再到从定性到定量综合集成这样三个步骤来实现的。这个过程不是截然分开，而是循环往复、逐次逼近的。

复杂系统与复杂巨系统（包括社会系统）问题，通常是非结构化问题，现在的计算机只能处理结构化问题。通过上述综合集成过程可以看出，在逐次逼近过程中，综合集成方法实际上是用结构化序列去逼近非结构化问题。图3是综合集成方法用于决策支持问题研究的示意图。

这套方法是处理复杂系统和复杂巨系统（包括社会系统）的有效方法，已有成功的案例证明了它的科学性和有效性。

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和网络技术，哲学基础是辩证唯物主义的实践论和认识论。

从方法论和方法的特点来看，综合集成方法本质上是用来处理跨学科、跨领域和跨层次问题研究的方法论和方法，它必将对系统科学体系不同层次产生重要影响，从而推动系统科学的整体发展。

20世纪90年代中期，钱老提出开创复杂巨系

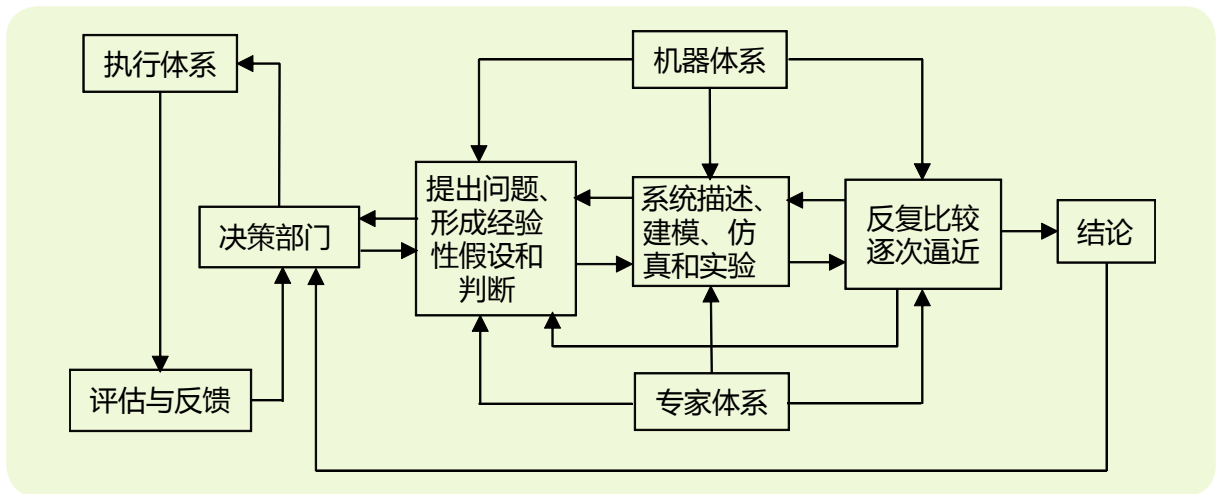


图3 综合集成方法用于决策支持研究示意图

统的科学与技术。运用综合集成方法，在科学层次上可以建立起复杂巨系统论。这就是综合集成的系统理论，它属于复杂巨系统学的内容。虽然这个一般理论目前尚未完全形成，但有了研究这类系统的方法论与方法，就可以逐步建立起这个一般理论来，这是一个科学新领域。

另一方面，运用综合集成方法在应用层次上可以发展复杂巨系统技术，也就是综合集成的系统技术，特别是复杂巨系统的组织管理技术，大大地推动了系统工程的发展。

系统工程是组织管理系统的技术，是组织管理系统规划、研究、设计、实现、试验和使用的技术和方法。它的应用首先是从工程系统开始的，如航天系统工程。

但当我们用工程系统工程来处理复杂巨系统和社会系统时，工程系统方法就暴露出了它的局限性，它难以用来处理复杂巨系统和社会系统的组织管理问题，在这种情况下，系统工程方法也要发展。由于有了综合集成方法，系统工程可以用来组织管理复杂巨系统和社会系统了。这样，系统工程也就从工程系统工程发展到了复杂巨系

统工程和社会系统工程阶段，是现在就可以应用的组织管理复杂巨系统和社会系统的系统工程技术。

由于实际系统不同，将系统工程用到哪类系统上，还要用到与这个系统有关的科学理论、方法与技术。例如，用到社会系统上，就需要社会科学与人文科学等方面的知识。

从这些特点来看，系统工程不同于其它技术，它是一类综合性的整体技术、一种综合集成的系统技术、一门整体优化的定量技术，体现了从整体上研究和解决系统管理问题的技术和方法。

钱老开创复杂巨系统的科学与技术，实际上是由综合集成思想、综合集成方法、综合集成理论、综合集成技术和综合集成工程所构成的综合集成体系，也就是复杂巨系统科学体系，在哲学层次上就是大成智慧学。这就把系统科学体系大大向前发展了，发展到了复杂巨系统科学体系。

如前所述，现代科学技术的发展一方面呈现出高度分化的趋势；另一方面又呈现出高度综合的趋势。系统科学和复杂巨系统科学就是这后一

发展趋势中最具有基础性和应用性的学问，是人类的宝贵知识财富和思想财富。它对现代科学技术发展，特别对现代科学技术向综合集成的整体化方向发展，必将产生重大影响，将成为一门21世纪的科学。这是钱学森对现代科学技术发展的重大贡献。

钱学森系统科学思想和系统科学体系，不仅有重要的科学价值，还有重要的实践意义和现实意义。

从实践论观点来看，任何社会实践，特别是复杂的社会实践，都有明确的目的性和组织性，并有高度的综合性、系统性和动态性。社会实践通常包括三个重要组成部分：

一是实践对象，就是干什么，能不能干，它体现了实践的目的性；

二是实践主体，是由谁来干和怎么干，它体现了实践的组织性；

三是决策主体，它最终要决定干不干、如何干的问题。

从系统科学观点来看，任何一项社会实践，都是一个具体的实践系统，正如钱老所说“任何一种社会活动都会形成一个系统”。实践对象是个系统，实践主体也是系统且人在其中，把两者结合起来还是个系统。因此，社会实践是系统的实践，也是系统的工程。这样一来，有关社会实践或工程的组织管理与决策问题，也就成为系统的组织管理和决策问题。在这种情况下，系统科学思想、理论方法与技术应用到社会实践或工程的组织管理与决策之中，不仅是自然的，也是必然的。这就是为什么系统工程和系统科学具有广泛的应用性以及系统科学思想指导性的原因。

但在现实中，真正从系统角度去考虑和处理社会实践和工程问题并用系统工程去解决问题，还远没有深入到各行各业的实践之中，特别是一

些重大工程实践就更为突出。人们在遇到涉及的因素多、复杂且难于处理的社会实践或工程问题时，往往脱口而出的一句话就是：这是系统工程问题。这句话是对的，其实它隐含两层含义：一层含义是从实践或工程角度来看，如上所述，这是系统的实践或系统的工程；另一层含义是从科学技术角度来看，既然是系统的工程或实践，它的组织管理就应该用系统工程技术去处理，因为系统工程就是直接用来组织管理系统的技术。

可惜的是，人们往往只注意到了前者，相对于没有系统观点的实践来说，这也是个进步，但却忽视或不了解要用系统工程技术去解决问题。结果就造成了什么都是系统工程，但又没有用系统工程去解决问题的局面。有些重大工程虽然也凑合过去了，但却付出了不应有的代价。

1978年，钱学森、许国志、王寿云发表了“组织管理的技术——系统工程”一文，并大力推动系统工程在各个领域的应用，特别是致力于把社会系统工程应用到国家宏观层次上的组织管理，以促进决策科学化、民主化和组织管理现代化。

现代科学技术体系（自然科学、社会科学、数学科学、系统科学等）为国家管理和建设提供了宝贵的知识资源和智慧源泉，我们应充分运用和挖掘这些知识和智慧，以集大成得智慧。而系统科学中的综合集成方法和大成智慧工程又为我们提供了有效的科学方法和有力的技术手段，以实现综合集成，大成智慧。这就是钱学森把系统科学特别是复杂巨系统科学和社会系统工程技术运用到国家宏观层次组织管理的科学技术基础。

法国科学家安培在1845年发表了《论科学的哲学》一篇长文，曾给关于国务管理的科学取了一个名字——控制论（Cybernetics），试图建立一门政治科学，但并没有实现。



图4 1955年钱学森携家人踏上回国路

钱老说：“20世纪50年代，我还没有回到祖国的时候，发现了这篇东西，我和我在学校工作的同事笑话他。他说，政府管理的学问，恐怕不能建立像自然科学那样严密的科学。我那时想，像你们美国政府，那些政客们、官僚们，都是不说真话的，讲的是一套，干的又是一套。你们那些政客都是骗人的。骗人的东西，怎能建立科学呢？科学是老老实实的学问，骗人的科学是没有的。所以，当时我笑他。安培的设想是很高尚的，可惜是空的。但安培的理想在社会主义国家，尤其是在我们社会主义的中国是可以实现的。这是因为我们是讲科学的，是不搞鬼的”。

钱老关于国家管理和建设的系统科学思想、理论方法与技术以及实践方式，要比安培的理想深刻得多也丰富得多，而且紧密结合我国国情，具有重要的现实意义。

今年是钱学森归国60周年，作者谨以此文纪念这位科学大师和伟大的爱国主义者！