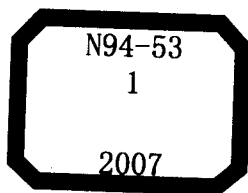


钱学森系统科学思想文库

钱学森 系统科学思想研究

中国系统工程学会
上海交通大学 编

上海交通大学出版社



钱学森系统科学思想文库

钱学森系统科学 思想研究

中国系统工程学会 编
上海交通大学

上海交通大学出版社

内 容 提 要

在钱学森系统科学思想指引下,我国的系统科学在基础理论、工程应用等方面都取得了丰硕成果,本书就是一部综合性的研究文集。全书共分四大部分:一是对钱学森系统科学思想发展的综述;二是系统论层面的专文,阐述了系统科学通向马克思主义哲学方面的研究成果;三是系统理论方面的研究成果,既有基础理论(系统学),也有相当于系统科学的技术科学层次的;四是系统工程方面的诸多成果和经验。

本书的读者对象是:系统科学、系统工程、计算机科学与工程管理科学等相关专业的师生、研究人员和工程技术人员,广大党政干部、社会科学工作者。

图书在版编目(C I P)数据

钱学森系统科学思想研究 / 中国系统工程学会, 上海交通大学编. —上海: 上海交通大学出版社, 2007

(钱学森系统科学文库: 4)

ISBN 978-7-313-04602-4

I. 钱... II. ①中... ②上... III. 钱学森—系统科学—思想评论 IV. ①K826.16②N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 121535 号

钱学森系统科学

思想研究

中国系统工程学会

上海交通大学 编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 张天蔚

常熟市华通印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 20.5 插页: 4 字数: 385 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1—3050

ISBN 978-7-313-04602-4/K·040 定价: 40.00 元

版权所有 侵权必究

“钱学森系统科学思想文库”序

钱学森是中国现代史上一位杰出的科学家，同时也是一位杰出的思想家。

在长达 70 多年丰富多彩的科学生涯中，钱学森曾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做出了杰出贡献。钱学森对我国火箭、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”。但从钱学森全部科学成就与贡献来看，这只是其中的一部分。实际上钱学森的研究领域十分广泛，从科学、技术、工程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、不同领域的相互交叉、结合与融合的综合集成研究方面，都做出了许多开创性的独特贡献。而钱学森在这些方面的科学成就与贡献，从现代科学技术发展来看，其意义和影响可能更大也更深远。

钱学森的科学历程大体上可分为三个阶段。第一个阶段是从 20 世纪 30 年代中到 50 年代中。这二十年是在美国度过的，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。与此同时，还创建了物理力学和工程控制论，成为当时国际上著名的科学家，这些成就与贡献形成了钱学森的第一个创造高峰。

值得指出的是，从现代科学技术发展来看，工程控制论已不完全属于自然科学领域，而属于系统科学范畴。自然科学是从物质在时空中运动的角度来研究客观世界的。而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，研究这些关系的系统性质。因此，系统和系统控制是工程控制论所要研究的基本问题。钱学

森创建工程控制论这个事实表明,在这个时期,钱学森已开始进行跨学科、跨领域的研究,并取得了重要成就。《工程控制论》一书的出版,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。工程控制论所体现的科学思想、理论方法与应用,直到今天仍然深刻地影响着系统科学与系统工程、控制科学与工程以及管理科学与工程等的发展。

第二阶段是20世纪50年代中至80年代初。这一时期钱学森的主要精力集中在开创我国火箭、导弹和航天事业上。这个时期工作更多的是工程实践,要研制和生产出型号产品来。航天科学技术与工程具有高度的综合性,需要广泛地应用自然科学领域中多种学科和技术并综合集成到工程实践中。由于钱学森在自然科学领域中的渊博知识以及高瞻远瞩的科学智慧,使他始终处在这一事业的“科技主帅”位置上。在周恩来、聂荣臻等老一辈无产阶级革命家的直接领导下,钱学森的科学才能和智慧得以充分发挥,并和广大科技人员一起,在当时十分艰难的条件下,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,这是钱学森的第二个创造高峰。

这里需要强调的是,以“两弹一星”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,研制出高质量可靠的型号产品来,这就需要有一套科学的组织管理方法与技术,在当时这是一个十分突出的问题。钱学森在开创我国航天事业的过程中,同时也开创了一套既有中国特色又有普遍科学意义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、生产和试验一体化;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。实践已证明了这套组织管理方法是十分有效的。从今天的角度来看,这就是在当时的条件下,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的自主创新道路。我国航天事业一直在持续发展,现已发展到了载人航天阶段,其根本原因就在于自主创新。

航天系统工程的成功实践,证明了系统工程的理论与方法的科学性和有效性,它不仅适用于自然工程,同样也适用于社会工程。系统工程的应用与实践也是钱学森对管理科学与工程的重要贡献。

第三阶段是20世纪80年代初到现在。80年代初,钱学森从科研一线领导岗位上退下来以后,就把自己的全部精力投入到学术研究之中。这一时期,钱学森学术思想之活跃、涉猎学科之广泛,原创性之强,在学术界是十分罕见的。他通过讨论班、学术会议以及与众多专家、学者书信往来的学术讨论中,提出了许多新的科学思想和方法、新的学科与领域,并发表了大量文章,出版了多部著作,产生了广泛的

学术影响。这些成就与贡献也就形成了钱学森的第三次创造高峰。

在这个阶段,钱学森花费心血最多也最具有代表性的是他建立系统科学体系和创建系统学的工作。从现代科学技术发展趋势来看,一方面是已有学科不断分化,越分越细,新学科、新领域不断产生,呈现出高度分化的特点;另一方面是不同学科、不同领域之间相互交叉、结合与融合,向综合性、整体化的方向发展,呈现出高度综合的趋势。这两者是相辅相成、相互促进的。系统科学就是这后一发展趋势中,最有基础性的学问。钱学森不仅善于从各学科、各领域吸收营养来构建系统科学,如创建系统学、发展系统工程技术等,而且又能从系统科学角度和综合集成思想去思考一些学科和领域的发展,从而提出新的学科和新的领域。如把人脑作为复杂巨系统来研究,提出了“思维科学”;把地球表层作为复杂巨系统来研究,提出了“地理科学”;把人体作为复杂巨系统来研究,提出了“人体科学”等等。这些新的学科和领域不仅与原来相关的学科和领域是相洽的,同时还融入了新的科学思想和科学方法。

在钱学森的科学理论与科学实践中,有一个非常鲜明的特点,就是他的系统思维和系统科学思想。在这个阶段,钱学森的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。特别是钱学森的综合集成思想和综合集成方法,已贯穿于工程、技术、科学直到哲学的不同层次上,形成了一套综合集成体系。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上的革命,其意义和影响将是广泛而深远的。

钱学森的科学成就与贡献不仅充分反映出他的科学创新精神,同时也深刻体现了他的科学思想和科学方法。这是我们宝贵的知识财富和精神财富,值得我们认真学习和研究,以便把他所开创的科学事业继续发展下去并发扬光大。正是由于这个原因,中国系统工程学会和上海交通大学联合编辑出版“钱学森系统科学思想文库”(以下简称“文库”)。出版这套“文库”的目的,一方面是为广大读者学习和研究钱学森科学思想、科学方法和科学精神提供系统的文献资料;另一方面,我们也将以此书献给今年九十五岁高龄的人民科学家钱学森,并祝他健康长寿。

“文库”收集了钱学森在不同时期有关系统科学的主要著作和文章。包括《工程控制论》(科学出版社,1958年)、《论系统工程》(增订本,湖南科学技术出版社,1988年)、《创建系统学》(山西科学技术出版社,2001年)。这三本书构成了“文库”的一、二、三卷。按照系统科学体系结构,工程控制论是处在技术科学层次上,系统工程属于应用技术,而系统学则属于基础理论层次。从这个角度来看,这三卷著作集中反映了钱学森在系统科学及其不同层次上的科学成就与贡献,我们可以从中学习和研

究钱学森的系统科学思想、系统方法、系统理论、系统技术与系统应用。这三本著作,曾经培育和影响了几代在这个领域中从事研究工作的专家、学者。他们之中的一些同志,应邀为“文库”出版撰写了自己的研究心得与成果。将这些文章编辑成册就构成了“文库”的第四卷,即《钱学森系统科学思想研究》。

编辑出版这套“文库”,是由中国系统工程学会和上海交通大学联合组织进行的。中国系统工程学会理事长陈光亚研究员、副理事长于景元研究员、涂元季高级工程师和上海交通大学党委副书记潘敏同志、王浣尘教授并邀请中国科学院自动化研究所戴汝为院士、中国科学院系统科学研究所顾基发研究员、北京大学哲学系冯国瑞教授、上海理工大学和上海系统科学研究院车宏安教授共同组成了“文库”编委会。“文库”第一卷由戴汝为负责,第二卷由顾基发负责,第三卷由冯国瑞负责,第四卷由车宏安负责。“文库”的整个组织协调工作由于景元、涂元季负责。在“文库”编辑出版过程中,北京大学朱照宣教授、中国人民大学苗东升教授、二炮装备研究院赵少奎研究员,积极提供了有关资料并参与讨论,为这套“文库”的出版作出了贡献,在此向他们表示衷心的感谢。

编辑出版这套“文库”是一项艰难的工作,我们为此也作了很大努力,力求把这一工作做好。但由于我们水平有限,难免会有这样或那样的缺点和不足,甚至是错误之处。希望读者在阅读和学习“文库”之后,如有发现,请给予批评和指正,我们将十分感谢。

“钱学森系统科学思想文库”编委会

· 2006年11月

目 录

A	钱学森综合集成体系	于景元 (1)
	从工程控制论到综合集成研讨厅体系	戴汝为 (13)
B	钱学森系统科学思想与辩证思维	冯国瑞 (22)
	综合集成法——整体论与还原论的辩证统一	卢明森 (34)
	钱学森论系统方法论	苗东升 (47)
C	神经系统复杂性研究中的几个问题	方福康 (55)
	关于科学与艺术的螺旋式推进发展的思考	王浣尘 (72)
	信息的系统观——从系统科学看信息	车宏安 (79)
	说樱宁	朱照宣 (92)
	多目标(向量)优化理论的现状和展望	陈光亚 (97)
	基于主体的建模方法——由来、理念和发展	陈 禹 (102)
	物质全程演化背景下的系统科学观	范文涛 (111)
	简单巨系统演化理论	姜 璐 (121)
D	地理系统工程研究	马蔼乃 (126)
	创建知识系统工程学科	王众托 (134)
	钱学森与人-机-环境系统工程	龙升照 (146)
	沙产业与系统科学	刘 恕 (154)
	基于网络的虚拟现实系统可扩充性问题研究	许晓鸣 吴言华 (162)
	系统工程方法论与方法论系统工程	孙东川等 (178)
	支持自主创新的知识管理战略研究	汪应洛 (190)
	TEI@I 方法论及其在外汇汇率预测中的应用	汪寿阳等 (199)
	系统工程专业教育的创建	汪 浩 谭跃进 (210)
	系统科学方法论及在典型信息法中的应用	李世辉 (212)
	金融市场的复杂性建模	张 维等 (222)
	社会经济系统的综合集成研究	周晓纪 (232)
	钱学森系统工程的战略思考与科学实践	柴本良 赵少奎 (243)
	系统工程发展的新机遇	柳克俊 (259)

钱学森系统科学思想研究

中国航天系统工程	郭宝柱 (261)
知识密集型草产业与系统工程	郝诚之 (265)
综合集成在知识科学中的应用	顾基发 (276)
综合集成方法的实践——“中国载人航天发展战略”研究方法	钱振业等 (281)
群体研讨环境研究及其应用	唐锡晋 (291)
城市交通拥堵形成机理与演化规律研究中的系统科学方法	高自友 (308)
编后记	(318)

钱学森综合集成体系

于景元

中国航天科技集团公司 710 研究所,北京,100037

众所周知,钱学森的研究领域十分广泛,从科学、技术、工程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、不同领域的相互交叉、结合与融合的综合集成研究方面,都做出了许多开创性的独特贡献。系统科学的成就与贡献就是其中的一个重要方面。

20 世纪 80 年代初,钱老从科研一线领导岗位上退下来以后,就把自己全部精力投入到学术研究之中。这一时期,钱老学术思想之活跃、涉猎学科之广泛,原创性之强,在学术界是十分罕见的。他通过讨论班、学术会议以及与众多专家、学者书信往来的学术讨论中,提出了许多新的科学思想和方法、新的学科与领域,并发表了大量文章出版了多部著作,产生了广泛的学术影响。

在这一时期,钱老花费心血最多也最具有代表性的是他建立系统科学体系和构建系统学的工作。从现代科学技术发展趋势来看,一方面是已有学科不断分化,越分越细,新学科、新领域不断产生,呈现出高度分化的特点;另一方面是不同学科、不同领域之间相互交叉、结合与融合,向综合性整体化的方向发展,呈现出高度综合的趋势。这两者是相辅相成、相互促进的。系统科学就是这后一发展趋势中,最有基础性的学问。钱老不仅善于从前一发展趋势中各学科、各领域吸收营养来构建系统科学,如创建系统学、发展系统工程技术等,而且又能从系统科学角度和综合集成思想去思考一些学科和领域的发展,从而提出新的学科和新的领域。如把人脑作为复杂巨系统来研究,提出了“思维科学”;把地球表层作为复杂巨系统来研究,提出了“地理科学”;把人体作为复杂巨系统来研究,提出了“人体科学”等等。而且这些新的学科和领域不仅和原来相关的学科和领域是相洽的,同时还融入了新的科学思想和科学方法。

在钱学森的科学理论与科学实践中,有一个非常鲜明的特点,就是他的系统思维 and 系统科学思想。在这个时期,钱学森的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,特别是钱学森的综合集成思想和综合集成方法,已贯穿于工程、技术、科学直到哲学的不同层次上,形成了一套综合集成体系。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上的革命,其意义和影响将是广泛而深远的。

下面,从三个方面对钱学森综合集成体系进行一些讨论。

一、综合集成思想与综合集成方法

系统科学和已有的其他科学不同,正如钱老所说的,系统科学就是从局部与整体、局部与系统这样一个观点去研究客观世界的^[1]。客观世界包括自然、社会和人自身。能反映事物这个特征最基本的重要概念就是系统,所以系统也就成为系统科学研究和应用的主要对象。这与自然科学、社会科学、人文科学等不同,系统科学能把这些科学领域研究的问题联系起来作为系统进行综合性整体研究。这就是为什么系统科学具有交叉性、综合性、整体性和横断性的原因,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性整体化的方向上。

所谓系统是指由一些互相关联、互相作用、互相影响的组成部分所构成的具有某些功能的整体,这是国内外学术界普遍公认的科学概念。这样定义的系统在自然界、人类社会包括人自身是普遍存在的。钱老根据系统结构的复杂性,提出了新的系统分类,将系统分为简单系统、简单巨系统、复杂巨系统、特殊复杂巨系统——社会系统。

系统的一个重要特点,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”。

系统科学研究表明,系统内部结构和系统外部环境以及它们之间的关联关系,决定了系统整体性和功能。从理论上来看,研究系统结构与环境如何决定系统整体性和功能,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,实际上也是属于这方面的探索。

另一方面,从应用角度来看,根据上述性质,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,只能主动去适应。而系统结构却是我们能够改变、调整和设计的。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,从而在整体上涌现出我们满意的和最好的功能,这就是系统控制、系统干预(intervention)、系统组织管理的基本内涵,也是控制工程、系统工程等所要实现的主要目标。

对于系统科学来说,一个是要认识系统,另一个是在认识系统基础上,去改造、设计和运用系统,这就要有科学方法论的指导和科学方法的运用。

钱学森是一位高度重视科学方法论与方法的科学家,也善于从方法论角度来处理问题,如对目前国内外都高度重视但又认识不一致的复杂性研究,钱老却从方法论角度给出了清楚的界定,他指出,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,都是复杂性问题,复杂巨系统就是这类问题^[2]。

对于简单系统和简单巨系统都已有了相应的方法,也有了相应的理论与技术并在继续发展之中。但对复杂巨系统(包括社会系统)却不是已有科学方法所能处理的,需要有新的方法论和方法,这就是钱老一再指出的,这是一个科学新领域。

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、人文科学由于研究对象的复杂性,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”^[3]。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”^[4]。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。

同样的道理,还原论方法也处理不了系统整体性问题,特别是复杂巨系统(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问题。

意识到这一点更早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,用他的话来说,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 30 年代他提出了整体论方法,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”^[5]。但整体论方法的提出,确实对现代科学技术发展的重大贡献。

20世纪80年代中期,国外出现了复杂性研究。所谓复杂性其实都是系统复杂性,从这个角度来看,系统整体性,特别是复杂巨系统(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,他们后来也“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。”^[3]

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、以 Agent 为基础的系统建模、用数字技术描述的人工生命等等。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。

20世纪70年代末,钱学森明确指出“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”^[6]。钱老的这个系统论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 $1+1>2$ 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。

钱老深谙西方哲学的精髓,又能吸取中华民族古代哲学的营养,并运用辩证唯物主义创立了系统论方法。他在吸收国外现代科学技术发展成就的同时,又能突破他们的各种局限性,站得比外国科学家更高一些,充分显示出他的科学创新精神。

20世纪80年代末到90年代初,钱学森又先后提出“从定性到定量综合集成方法”以及它的实践形式“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部。这就将系统论方法具体化了,形成了一套可以操作的行之有效的体系和实践方式。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、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。正如钱老指出的,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^[2]。

钱老提出的人-机结合思维体系是系统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”^[2]。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任何帮助。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以人为为主的思维方式,那就更有优势,思维能力更强,人将变得更加聪明,它的智慧和创造能力比人要高,比机器就更高,这也是 $1+1>2$ 的道理。这种聪明“人”的出现就是钱老所说的,将会出现一个“新人类”,不只是人,是人-机结合的“新人类”^[2]。

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。信息的系统集成可以获得知识,信息和知识的系统集成可以获得智慧。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-机结合以人为主要的方法来获得信息、知识和智慧,在人类发展史上,这是具有重大意义的进步。系统集成方法就是这种人-机结合获得信息、知识和智慧的方法,它是人-机结合的信息处理系统、人-机结合的知识生产系统、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。但对复杂巨系统(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明确结论。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。具体地说,是通过从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。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1是综合集成方法用于决策问题研究的示意图。

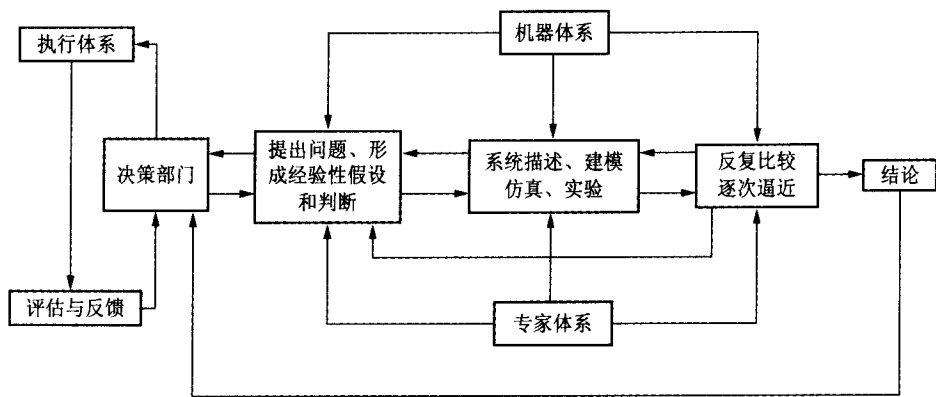


图1

这套方法是目前处理开放的复杂巨系统(包括社会系统)的有效方法,已有成功的案例证明了它的有效性^[7]。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。

二、综合集成理论与综合集成技术

科学是认识世界的学问,技术是改造世界的学问,工程是改造世界的实践。从这样三个层次来看,现代科学技术已有了巨大发展,人类对客观世界的认识越来越深刻,改造客观世界的能力也越来越强。今天,科学技术对客观世界的研究与探索,已从渺观、微观、宏观、宇观直到胀观五个层次的时空范围^[8],可用图2来表示:

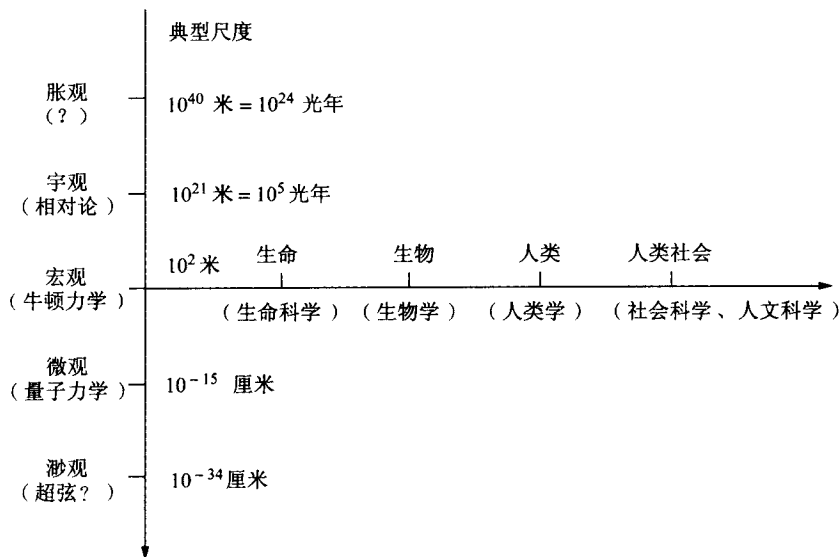


图 2

其中宏观层次就是我们所在的地球,在地球上出现了生命、生物,产生了人类和人类社会。相应于这些不同部分和不同层次的研究,也就形成了今天众多的科学领域和学科。

钱学森从系统科学思想出发,从整体上建立了现代科学技术体系结构^[9],在这个体系中,不同领域、不同学科、不同层次的知识,相互关联、相互影响共居一体,而且这个体系是开放的,随着科学技术的发展,这个体系也要发展。

客观世界是相互联系、相互影响、相互作用的,因而反映客观世界不同部分不同层次规律的不同科学技术部门之间,如自然科学、社会科学和人文科学之间,也是相互联系、相互影响、相互作用的,我们不应把这些学问的内在联系人为地加以割裂,而应把它们有机联系起来去研究和解决问题。

正如前面所说,现代科学技术的发展呈现出既高度分化,又高度综合的两种明显趋势。在这后一发展趋势中,不仅有同一领域内不同学科的交叉、结合,特别是不

同领域之间,如自然科学、社会科学、人文科学之间的相互结合以至融合,这已成为现代科学技术发展的重要特点。在这一趋势中,先后涌现出系统科学、管理科学、软科学、非线性科学、复杂性科学等。在这个方向上的理论和应用研究,都应引起我们高度重视,这里有很大的创新空间。特别是这方面人才的培养,显得更加迫切。这类人才是具有跨学科、跨领域研究能力和创新能力的复合型人才。

对于这后一发展趋势,我们始终面临着如何把不同领域、不同学科以及不同层次的知识综合集成起来的问题,这样形成的知识,无论是科学理论还是应用技术,都将使我们对客观事物的认识更加深刻,改造客观世界的能力也就更强。复杂性研究和复杂科学的积极倡导者 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把它们联系到一起,有些事实和想法初看起来彼此风马牛不相及,但新的方法却很容易使它们发生关联”^[10]。Gell-mann 虽然没有说明这里所说的新途径、新方法是什么,但从他们后来关于复杂系统、复杂适应系统的研究来看,这个新途径和新方法就是系统途径和系统方法。

一般来说,复杂系统、复杂巨系统不仅有自然属性,还有社会属性和人文属性,这些属性寓于同一个系统之中。研究这个系统不仅需要自然科学,也需要社会科学、人文科学,系统本身就把这些学问联系起来。这就需要把这些学问综合集成起来,才有可能全面、深刻地去认识系统。以管理科学为例,大家都认为管理科学是自然科学、社会科学、人文科学相互交叉、结合以至融合的研究领域。实际上,管理科学所面临的研究和应用对象都是系统,这些系统通常都是复杂巨系统,特别是社会系统中的问题。既有自然属性,又有社会属性和人文属性。在这种情况下,我们需要的是把自然科学、社会科学与人文科学综合集成起来研究系统的管理问题,而不是把它们分割开来仅从自然科学角度或仅从社会科学、人文科学角度去研究,然后再拼起来。这是两种不同的研究路线,也是两种不同的研究方法。前者需要综合集成方法,后者还是还原论方法,方法不同效果也就不会一样,在实践中已有大量事实说明了这一点。

在现代科学技术向综合性整体化方向发展过程中,综合集成方法可以发挥重要的基础作用。从方法论与方法的特点上来看,综合集成方法本质上就是用来处理跨学科、跨领域和跨层次问题研究的方法论和方法。运用综合集成方法所形成的理论就是综合集成的系统理论,钱学森提出的系统学,特别是复杂巨系统学,就是要建立这套理论。国外关于复杂性的研究,实际上也是属于系统理论范畴^[11]。

综合性整体化的方向,不仅有科学层次上的理论问题,也有技术层次上的应用问题。在这方面,比较典型的是系统工程技术的出现与发展。系统工程是组织管理系统的技术,它根据系统总体目标的要求,从系统整体出发,运用综合集成方法把与系统有关的学科理论方法与技术综合集成起来,对系统结构、环境与功能进行总体