

创建系统学



钱学森著

山西科学技术出版社

钱学森
著

创建系统学

责任编辑:赵志春 金 山

复 审:郭博信

终 审:焦团平

封面设计:杨晓亮 李岩松

责任校对:赵志春

图书在版编目(CIP)数据

创建系统学/钱学森著. —太原:山西科学技术出版社,
2001.11

ISBN 7-5377-1948-9

I. 创… II. 钱… III. ①系统工程-研究②系统科学-研究 IV. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 081762 号

创建系统学

钱学森 著

*

山西科学技术出版社出版 (太原建设南路 15 号)

山西省新华书店发行 山西人民印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:18.125 字数:440 千字

2001 年 11 月第 1 版 2001 年 11 月山西第 1 次印刷

印数:1—2 200 册

*

ISBN 7-5377-1948-9

Z·353 定价:45.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与印刷厂联系调换。

序

中国工程院院士 许国志

今年 12 月 11 日是钱学森同志九十寿辰。在钱老丰富多彩的科学生涯中，系统工程和系统科学是他最重视的研究领域之一。从 20 世纪 70 年代末开始，他花费很大心血，把主要精力集中在系统工程的推广应用和系统科学理论的探索和研究上。1978 年发表在《文汇报》上的“组织管理的技术——系统工程”一文和 1990 年发表在《自然杂志》上的论文“一个科学的新领域——开放的复杂巨系统及其方法论”，代表了钱老系统工程和系统科学思想发展的两个阶段，都是具有里程碑性质的工作，对系统工程和系统科学的发展具有重要意义和深远影响。

1978 年《文汇报》上的那篇文章是由钱老、我和王寿云联合署名的。文章发表时，全国科学大会刚召开不久，那是媒体首次发表中国学者阐述有关系统工程思想的文章。但事实上，钱老对系统工程的思考和认识远不是始于 1978 年。1963 年我国制定第二个科学规划时，他就提出要搞系统工程。而再早还可追溯到 20 世纪 50 年代后期，他主持国防部五院工作时就建立了总体设计部，这个部门的工作实际上就是航天系统工程。钱老在美国很长一段时间是

在加州理工学院喷气推进实验室（JPL）工作，这是美国导弹航天技术的摇篮。钱老当时是这个实验室的第一任主任兼戈达德（Goddard）讲座教授。第二任讲座教授也是后来成为 JPL 主任的匹克林（Pigkling）教授，在 20 世纪 60 年代写过一篇 JPL 系统工程发展史的文章，里面提到该实验室从事系统工程研究工作的历程。其发源正是钱老担任该实验室主任的时期。从以上这些可以看出，钱老提出的一些根本性科技发展问题，都是经过较长时间深思熟虑的。

到了 1978 年，记得是 4 月 30 日，我给钱老写了封信，请示系统工程这件事现在是不是可以提上议事日程。钱老就此与我书信来往，并多次见面讨论，不久就写成了那篇发表在《文汇报》上的文章。这篇文章对中国系统工程的发展起到了推动作用。现在许多人，包括一些领导同志，脱口而出的一个名词就是系统工程，媒体上更是经常出现。有些人担心提得太多，可能会把系统工程的概念搞乱了，这当然值得注意。但我觉得，至少可以说，那些专家和领导同志都认为，他们现在抓的工作，或者说要解决的问题，如果要用一个词来表达的话，那么系统工程就是一个恰当的概括。

然而，钱老并不因为在系统工程方面做了不少开创性工作就止步不前，而是一直孜孜不倦地向前走。1978 年的文章发表不久，在北京系统工程学术讨论会的讲演中，他提出了建立系统学的问题。后来，他就有个想法，要通过举办系统学讨论班这样的方式，来开展系统科学的研究工作和培养系统科学的研究队伍。讨论班的形式也是钱老当年在美国从事科研工作常用的方法。从 1986 年 1 月起，在

钱老的倡议和指导下，开始了“系统学讨论班”的学术活动，他亲自做了关于建立系统学的第一次学术报告。这个讨论班坚持了多年，雷打不动。每次他都参加，一方面认真听取别人的报告或发言，和与会人员平等地讨论，同时他也系统地阐述自己的体会和观点。在这个讨论班的基础上，钱老又把系统学的研究推进了一大步。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，这是系统科学的基础理论。事物常有两个方面，一个是事物的结构，另一个是其属性。而事物的主要属性之一是复杂性。钱老正是抓住这一特点，提出了开放的复杂巨系统概念。与此相应，他还提出了处理复杂巨系统的方法论，即“从定性到定量综合集成法”以及它的实践形式——“从定性到定量综合集成研讨厅体系”。这是从整体上研究和解决问题的方法。按照我国传统说法，把一个复杂事物的各个方面综合起来，达到对整体的认识，称之为集大成。古人之集大成完全是靠人脑，是有限的。而在当今的信息时代，有了计算机和信息网络这一套技术，通过人·机结合和人·网结合，完全可以做到集其大成。其结果必能迸发出新的思想火花，得到一个升华的新的认识，所以他提出集大成得智慧。钱老并把这套方法称之为“大成智慧工程”。这些进展代表了钱老系统工程和系统科学思想发展的第二个里程碑。

从系统工程的提出开始，钱老就很重视方法论问题。早期他提得比较多的是定性与定量相结合的方法。后来他根据毛主席《实践论》的观点，即人认识客观世界的规律是从感性认识到理性认识。于是便更准确地提出从定性到

定量综合集成法。看起来这只是文字上有一点差异，而事实上这是非常不同的两种思路。从科学发展的过程来看，这个方法论是把还原论与整体论结合起来，既超越了还原论也发展了整体论，是系统学的一种新的方法论。其理论基础是思维科学；方法基础是系统科学与数学；技术基础是以计算机为主的现代信息技术；哲学基础是马克思主义实践论与认识论；实践基础是系统工程的实际应用。

钱老不仅是位科学家，还是位思想家。大科学家到了晚年常常会讲些哲学问题，而且一般物理学家讲得较多，比如爱因斯坦、玻尔等。化学家就很少。而作为工程技术专家可能极少见。钱老毕竟是从工程技术学科走过来的，所以他总是强调实践，强调在理论的指导下，把具体的东西做出来，即使他到了哲学层次，还是没有忘记科学技术的底蕴。

这本书所收集的是钱老在系统科学思想发展的第二阶段上所发表的讲话、论文和书信，其中绝大部分是从未发表过的。从这些讲话、论文和书信中，可以看出他的系统科学思想发展的历程，其理论和方法研究的深度和广度。

出版这本文集是为了纪念钱老九十寿辰，同时也把他创建系统科学理论与方法的原始创新思想奉献给广大读者，以引起更多人的兴趣和研究，把我国系统工程和系统科学事业更快地发展起来。

展望新世纪系统工程、系统科学的发展，我想用古人的两句诗来表达我的想法：“江山代有人才出，各领风骚数百年。”中国古代整体论的思想，曾创造了辉煌的中华文化；而还原论从牛顿开始，领了数百年风骚。钱老将两

者结合起来，提出了系统论。我相信系统论思想和系统科学在 21 世纪一定会有更大的发展！

在写这个序时，我非常高兴。为表达我对钱老的敬意，特赋诗一首，作为这篇序的结束语。

水 龙 吟

——祝贺学森先生九旬华诞

思如天马行空，真知灼见常相透。
工程智慧，厅称研讨，以人为首。
洞察毫微，纵观经纬，虑深谋久。
看新声时创，风骚先领，常三载，超前走。

素喜亲书函牍，几曾经，假他人手。
桐阳论学，春风满座，十年相守。
万卷胸中，千行笔底，有谁堪偶？
喜欣逢盛世，金樽玉酒，为先生寿。

2001 年 8 月 21 日

编辑说明

钱学森是一位杰出的科学家、思想家。在他辉煌的科学生涯中，曾建树了应用力学、喷气推进、工程控制论、物理力学和我国火箭、导弹及航天事业的许多丰碑。同时出于对祖国建设事业的关切，他又将先前研究的工程控制论，结合中国导弹和航天器系统的研制和管理经验，提炼成系统工程理论，并运用于军事运筹、农业、林业……乃至整个社会经济系统等各个方面，为祖国现代化建设发挥了重要作用。

1991年10月，在国务院、中央军委授予他“国家杰出贡献科学家”荣誉称号仪式上的讲话中，钱老说：“我认为今天的科学技术不仅仅是自然科学工程技术，而是人认识客观世界、改造客观世界整个的知识体系，这个体系的最高概括是马克思主义哲学。我们完全可以建立起一个科学体系，而且运用这个科学体系去解决我们中国社会主义建设中的问题”。并说：“我在今后的余生中就想促进一下这件事情”^{〔1〕}。

事实上，钱学森的这项研究工作早在20世纪70年代末就开始了，当时他即将从国防科研一线领导岗位上退下来。从那时起，他把主要精力集中在系统工程的推广應用和系统科学理论的探索和研究上。这20多年的时间，是钱学森系统思维、系统思想非常活跃的时期。一方面是面向社会实践的应用；另一方面是面向理论的创新。把理论和实践紧密结合起来，是钱学森从事科学技术研究的一贯特点。在大力推动系统工程应用的

同时，他提出了一个清晰的现代科学技术体系结构，并具体论述了系统科学体系结构。指出系统科学如同自然科学、社会科学、思维科学、数学科学等一样，是现代科学技术体系中的一个科学技术部门。在系统科学体系中，处在应用技术层次上的就是系统工程，这是直接用来改造客观世界的工程技术；处在技术科学层次上，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；而处在基础理论层次上的便是系统学（Systematology）。系统学是研究系统一般规律的基础科学，这是一门尚待建立的新兴学科。1979年，钱老在一次学术报告中，就提出了建立系统学的任务^[2]。

为了建立系统学，钱学森一方面推动系统工程的应用，另一方面采取了讨论班的方式。20世纪80年代中，在他亲自倡议和指导下，开始了“系统学讨论班”的学术活动。每次讨论会钱老不仅都要参加，而且还发表自己的看法和观点，与大家平等地讨论问题。这种学风就是他一直大力倡导的学术民主。用书信和有关人员讨论学术问题，也是钱老进行学术交流的重要方式，这里既有著名的专家、学者，也有一般科技人员。他的这种方式一直持续到近年。

在以上这些学术活动和交流中，对于系统学和系统科学，钱学森提出了许多创新的学术思想和重要观点，提炼了很多重要的科学概念，建立了新的系统方法论。所有这些对创建系统学和发展系统科学，都具有重要的科学价值和深远的学术影响。

这本文集所收集的正是这段时间他所发表的有关讲话、论文和书信。从这些文字中，可以看出钱学森的系统科学思想发展历程、原始创新思想以及系统理论与方法研究的深度和广度。这些进展也标志着钱学森的系统思想、系统方法、系统理

论和系统应用进入了一个新的阶段，达到了新的高度。它是钱学森科学精神、科学思想和科学方法的重要组成部分。

这里需要说明的是，1982年湖南科学技术出版社出版了钱学森等著《论系统工程》一书，1988年又出版了该书的增订本。这两本书虽以系统工程为主，但其中不少内容已涉及到系统学和系统科学的有关问题。在编辑本书时，我们收集的部分论文，重点是20世纪80年代末到现在已正式发表的，以论文形式发表的讲话也编入此类。而上述两本书内有关的论文就不再收入本书了。至于书中的讲话和书信部分，则是从未发表过的。

为了便于读者理解本书的内容，我们将在下面作扼要说明，并提供一些有关的科学背景情况。

—

讨论班的形式是钱老从事学术研究常用的方法。在他提出建立系统学之后不久，就想以系统学讨论班的方式，来开展系统学和系统科学的研究工作，并培养这方面的研究人才和队伍。

1986年1月7日，“系统学讨论班”开始了学术活动。参加讨论班的老、中、青三代科技工作者，分别来自中国科学院、中国社会科学院、北京大学、北京师范大学、国防科学技术工业委员会、航空航天工业部和国务院发展研究中心等单位。

在第一次讨论班上，钱老亲自作了关于建立系统学的学术报告。在这次报告中，他从现代科学技术体系结构讲到系统科学体系结构；从系统工程讲到运筹学、控制论、信息论，再到系统学。明确指出了系统学的学科性质，是关于一切系统的一般性理论，属于基础科学。关于如何建立系统学，20世纪80年代初他曾提出：“我认为把运筹学、控制论和信息论同贝塔朗菲、普里

戈金、哈肯、弗洛里希、艾肯等人的工作融会贯通，加以整理，就可写出系统学这本书”^{〔3〕}。在这次报告中，除了这些内容外，又增加了微分动力系统理论、混沌和奇异吸引子理论、非整几何以及非线性动力系统理论等。从这个发展过程可以看出，钱学森为创建系统学，除了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中去提炼、概括以外，还从其他科学技术部门的发展中去提炼，如自然科学中的物理学、化学、生物学等以及数学科学的进展，都为建立系统学提供了丰富的素材。这些学科虽然不是直接以系统作为研究对象，但却揭示了许多深刻的系统规律，如普里戈金与哈肯的系统自组织理论等。钱学森的这一思想后来又扩展到更广泛的学科，如军事科学、社会科学、地理科学等。

正是在钱老这种思想指导下，就与系统学有关的学科理论，如动力系统理论、混沌理论、现代控制理论、耗散结构理论、协同学、超循环理论、突变论、模糊数学、人工智能、医学、脑科学、思维科学、数量经济学、定量社会学、生态学、地理科学、作战模拟、军事科学、优化理论等的最新进展，都在系统学讨论班上，组织了学术报告和讨论。每次都由一位主讲人作专题学术报告，然后提问和讨论，最后由钱老作总结性发言。本书所收集的钱老讲话，主要就是他在历次讨论班上总结性发言的精彩部分。作主报告的人，既有著名科学家，如吴文俊、廖山涛、叶笃正、许国志、马世骏等，也有各有关领域的一些专家学者。

从1986年到1992年的7年时间里，每次讨论班钱老都参加。1992年之后，他因行动不便，就不再参加讨论班的学术活动了。但他不仅继续关注讨论班的学术活动，同时又组织了由王寿云同志负责的，有于景元、戴汝为、汪成为、钱学敏、涂元季同志参加的小讨论班。这个小讨论班不仅经常要讨论一些问题，

有时还在钱老指导下研究一些问题，如信息革命与产业革命问题等。

20 世纪 80 年代末，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（系统的演化、协同与控制）一般规律的科学。对于所有系统来说，系统结构和外部环境决定了系统功能；系统结构及外部环境的改变必然引起系统功能的变化。揭示这些规律便是系统学的基本任务。把控制的思想 and 概念引入到系统学，是钱老一个很重要的学术思想。系统学不仅要揭示的系统规律去认识系统，而且还要在认识系统的基础上去控制系统，使系统具有我们所希望的功能。这正是体现了认识客观世界的目的是为了能够更好地适应和改造客观世界这一马克思主义的基本原理。

钱老对系统学的上述定义，比他 20 世纪 80 年代初对系统学的认识又深化了一步。以这个概念和思想为核心，形成了简单系统、简单巨系统、复杂巨系统和特殊复杂巨系统（社会系统）为主线的系统学提纲和内容，这就形成了系统学的基本框架。由许国志院士主编的“系统科学”一书（上海科技教育出版社 2000 年版），关于系统理论部分，就是按照这一框架编写的。

钱学森认为，系统学的建立是一次科学革命，它的重要性不亚于相对论和量子力学。从现代科学技术发展趋势来看，如果说量子力学是微观层次（典型尺度约为 10^{-15} 厘米）研究上的科学革命，相对论是宇观层次（典型尺度约为 10^{21} 米）研究上的科学革命，那么系统学则是宏观层次（典型尺度约为 10^2 米）研究上的科学革命。宏观层次就是我们人类生活的这个世界。在这个层次上出现了生命和生物，产生了人类和人类社会。复杂巨系统的研究以及国外的复杂性研究，都是着眼于这个层次上的。

二

建立系统学必然要涉及到一些基本概念和方法论问题。钱老提出的开放的复杂巨系统及其方法论，是系统学研究中最重要的发展标志。

钱学森指出，系统科学是从事物的部分与整体、局部与全局以及层次关系的角度来研究客观世界的。能反映事物这个特征的最基本的概念是系统。系统是由一些相互关联、相互作用、相互制约的组成部分所构成的具有某种功能的整体，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，因而现实生活中存在着各种各样的系统，这样也就有了各种各样的系统分类。例如，自然系统与人工系统，生命系统与非生命系统，物理系统、生物系统、生态系统、社会系统等等。这样的系统分类比较直观，其着眼点是放在系统的具体内涵上，但却失去了对系统本质的刻画。系统很重要的一个特点是复杂性，但复杂性是有层次的，普里戈金探索的复杂性是物理化学系统中的复杂性^[4]，而美国圣菲研究所（Santa Fe Institute, SFI）科学家们的复杂性研究^[5]，却是生物系统、经济系统、人脑系统，乃至社会系统中的复杂性，同为复杂性，但全然不在同一层次上。

正是基于复杂性层次的不同，钱老提出了新的系统分类，其着眼点是系统结构的复杂性。这里，一个是子系统的数量和种类；另一个是子系统之间相互关系的复杂程度（非线性、不确定性、模糊性等）以及系统的层次结构。从这个角度出发，钱老将系统分为简单系统、简单巨系统、复杂巨系统。生物系统、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，称作特殊复杂巨系统。这些系统又都是开放的，和外部环境有物质、能量和信息的交换，所以又称为开放的复杂巨系统。

钱学森的系统分类具有极为重要的理论和实践意义。近十多年来，复杂性研究引起了国内外一些专家、学者的重视，但至今不同学科、不同领域的专家、学者，对于复杂性的认识还不一致。在 1999 年出版的美国《科学》（《Science》vol. 284）杂志上，有一组文章讨论复杂性问题的，采用了“复杂系统”一词作为标题，文中说“本专题回避了一个术语上的雷区，部分原因是为了当方法进一步成熟时给定义的稳定留下一些空间，我们渴望避开术语上的争论，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之一”^{〔6〕}。看来他们也意识到要把复杂性和系统概念结合起来。但在复杂性问题上，钱学森和国外科学家们不同，他不是从复杂性的抽象定义出发，而是从实际出发，从方法论角度来区分复杂性和简单性问题。如果仅从概念出发，不仅难以统一认识，甚至会抓不住事物本质，反而把复杂性简单化，或把简单性复杂化了。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，像无穷维的 Navier - Stokes 方程所决定的湍流，自旋玻璃等，他们都叫复杂性问题。但钱老认为，这种复杂性并不复杂，还是属于有路可循的简单性问题。正是从方法论出发，钱老在 20 世纪 80 年代就指出：“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”^{〔7〕}。他还进一步指出，圣菲研究所对复杂性的研究，实际上是开放的复杂巨系统的动力学问题。这样，钱老就从系统学的角度，给了复杂性一个清晰和具体的描述。

上述的系统分类还意味着有不同的研究方法。从方法论来看,对简单系统、简单巨系统,都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。但对于开放的复杂巨系统,包括社会系统,却是个新问题。它不是还原论方法或其他已有方法所能处理的,需要有新的方法和方法论。从这个意义上说,这确实是一个科学新领域。

还原论方法在自然科学领域中取得了巨大成功。但“还原论的不足之处正日益明显”^[6]。比较早意识到这一点的科学家是贝塔朗菲(L. von Bertalanffy),他本人是位理论生物学家,当生物学研究已深入到分子层次时,用他本人的话来说,他对生物整体的认识反而模糊了。于是他转向整体论和整体论方法,提出了一般系统论。贝塔朗菲的一般系统论对系统科学的产生与发展做出了重要贡献。但限于当时的科学技术水平,他没有解决整体论方法的具体问题。钱老指出“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”^[8]。

钱学森是一位自觉应用马克思主义哲学指导自己研究工作的科学家。他在给一位朋友的信中说:“我近30年来一直在学习马克思主义哲学,并总是试图用马克思主义哲学指导我的工作。马克思主义哲学是智慧的源泉!”^[9]。正是因为这个原因,他在吸取国外现代科学技术进展的同时,又能甩掉他们的种种局限,站得比外国科学家更高一些。

他在毛泽东的《实践论》指导下,从实际出发,不断总结、提炼一些成功的实践经验。20世纪80年代初,在军事系统研究中,他提出处理复杂行为系统的定量方法学是科学理论、经验知识和专家判断力的结合,这种定量方法学是半经验半理论的。后来在“系统学讨论班”上,又继续方法论的探索。这时他特别注意到社会系统、地理系统、人体系统中一些成功的研究。如在社

会系统中，由几百个至几千个变量描述的，定性定量相结合的系统工程方法对社会经济系统的研究；在地理系统中，用生态学、环境保护以及区域规划等综合探讨地理系统的研究；在人体系统中，把生物学、生理学、心理学、西医学、中医和传统医学等综合起来的研究等。

钱学森不仅高度重视这些实际案例的研究，而且还具有从这些成功研究中提炼新概念、概括新理论的超人智慧。20 世纪 80 年代初，他在国防科工委科技委指导了几项复杂武器系统的定量研究；20 世纪 80 年代中，他又对一项关于社会经济系统的研究十分重视。这些研究成为他后来提出“从定性到定量综合集成方法”的重要实践依据。考虑到保密问题，在这里我们仅就关于社会经济系统的研究做较深入的说明，使大家对从定性到定量综合集成法有一个较为具体的感性认识。这也是钱老在讲话中多次提到的一项工作，是我们需要向读者交代清楚的一个实际背景。

这项工作始于 20 世纪 80 年代初，即 1983 年到 1985 年间，当时的航天部 710 所在经济学家马宾的具体指导下，完成了财政补贴、价格、工资综合研究以及国民经济发展预测工作。这是当时经济体制改革中提出的问题的。我国的改革开放首先是从农村开始的，然后转向城市。1979 年以来，为了提高农民生产积极性，在农村实行了农副产品收购提价和超购加价政策，其结果不仅促进了农业发展，也提高了农民的收入水平。但当时的零售商品（如粮、油等）的销售价格并未作相应调整，而是由国家财政补贴的。随着农业生产连年丰收，超购加价部分迅速扩大，财政补贴也就越来越多，以至成为当时中央财政赤字的主要根源。同时也使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。这就严重地影响了国家重点工程的投资，也制约了国民经济发展的增长速度。