

系统研究

祝贺钱学森同志85寿辰论文集

● 浙江教育出版社

系 统 研 究

祝贺钱学森同志 85 寿辰论文集

浙 江 教 育 出 版 社

责任编辑 吴明华
封面设计 王大川 李珺
责任出版 温劲风

系统研究

祝贺钱学森同志 85 寿辰论文集

浙江教育出版社出版发行

(杭州体育场路 347 号 邮编:310006)

利丰雅高印刷(深圳)有限公司印刷

(深圳市南头内环路南光路口 邮编:518051)

开本:787×1092 1/18

印张:26

字数:330 000

印数:0001—3000

1996 年 11 月第 1 版

1996 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 7-5338-2522-5/G · 2514 定价:25.00 元
版权所有 翻印必究

主 编 许国志

编 委 (按姓氏笔画为序)

于景元 王寿云 许国志

汪成为 涂元季 戴汝为

序

今年12月11日是钱学森同志85岁的寿辰。学术界的一部分同时代人,多数是年青一些的,为了祝贺和致敬,编写了这本《系统研究》。采用这个内容编写这本书,是十分得当的。正是因为学森同志40余年来带领一班学者,带头倡导,使得“系统”的概念在中国社会上广泛地深入人心,对于推动社会前进,起了不容忽视的作用。

怎样划定一个“系统”?按我个人很粗浅的理解:它应当包含多个个体。系统内个体之间存在着紧密的联系,而这些个体与本系统之外的系统和个体之间所存在的联系,则是显著地松散。系统有大的、小的、极大的、极小的。系统之内可以分成子系统,再分小也是可能的。任何一个个体之内,也可能又是一个系统。因此在观察、对待任何事物时,必须都从系统的角度予以考察。既要考察其内部构成,也要考察个体与整体之间,个体与个体之间的联系,更要考察其与外部的联系。不仅从空域中考察,还要在时域中考察,因为所有的因子,个体和群体,及其相互的联系,都不会是一成不变的,必须作动态的考察。记得46年前,那时还在美国,学森同志就和我谈过这样一句精辟的话:“辩证法的一个要点就是要人全面地看问题”。我想这也就是说从系统的角度看问题,以避免主观性、表面性和片面性。从我们几十年的实践经验看,对系统的概念,特别是在实践中运用系统工程的方法,确是再怎样强调也不为过的。

在系统学学术方面,他起了很重要的作用。10年来,他组织、主持,并亲自坚持参加的一个系统学讨论班,包括了工程界耆宿、

理论物理学家、数学家、系统工程学家等等。通过认真和热烈的讨论,在系统学和系统工程方面取得了系统的、成功的成果。他自己还在系统科学理论方面作出了指导性的贡献,并把系统工程与运筹学方法付诸于解决若干国家重大问题的实践。

当然,学森同志的贡献远不只此。他对中国发展航天事业和导弹的历史性巨大贡献是众所周知的。他在流体力学以及结构力学和工程控制论方面的贡献已经是世界性的财富。他思路宽广,勤于思考,对事物持有锐利的洞察力和敏感,以此他在跨多种学科的方面提出许多独到的见解。如思维科学、科学与美学、人体现象学、科学与技术结构论等。他是边际学科发展的带头的倡议者。

我特别要提到的是他很早接受了进步思想。1934年他和我谈中国的现状,不靠政治(革命)而只靠读书是不能改变的。这话对我以后的生活是一个最早的重要启发。一直到现在,我们对马克思主义辩证法、唯物论的信仰是始终不渝的。就努力于运用辩证唯物主义来说,尽管我的识见、成就远远不如他,但志趣上还是一致的。

本书编入31篇论文。其内容可分为四个部分。第一部分是控制论与运筹学,第二部分是系统科学与系统工程,第三部分是社会工程与管理工程,第四部分是各学科边际问题。文章作者各在自己研究成果的基础上撰写了论文。为了共同完成编写此书的盛举,有的在百忙之中数易其稿,有的专心思考写作数月始成,有的虽身在国外,仍然如期完稿。这些都是作者们对学术的执著追求和对学森同志的诚挚感情的体现。

作者用这本书来表达对学森同志的祝贺之情,也希望这本书反映他们学术研究的成果而引发同行更大的学术热情。

罗沛霖

1996年9月17日

望 海 潮

祝贺学森先生 85 寿辰

许国志

燕京雄伟，钱塘秀丽；
江山代出才人。
百郡少年，千家学子；
弦歌绛帐生春。
赫赫大名闻。
有工程控制，纸贵如珍。
漫卷诗书，急随秋水到都门。

东风吹暖乾坤。
看人归故国，箭透飞云。
扫秃兔毫，磨凹玉砚，
书成系统雄文。
星绕月华轮。
喜烛明、歌朗，糕美、花芬。
眉寿、文章、德业，
三盏酒欣温。

目 录

序	罗沛霖
望海潮	
——祝贺学森先生 85 寿辰	许国志

第 一 部 分

控制论和系统科学与中国的缘分	宋 健	1
控制论的发展与自然控制论	杨嘉墀	15
正反馈系统	郑维敏	21
随机逼近:系统控制的有力工具	陈翰馥	33
带有乘性摄动不确定性系统的鲁棒镇定	王恩平	50
可修生产线生产率及缓冲库存的预计	疏松桂 蒋昌俊	61
运筹学历史的回顾	许国志 杨晓光	79

第 二 部 分

关于总体设计部	马 宾	100
从工程系统总体设计部到社会系统总体设计部体系		
.....	于景元	110
关于开放的复杂巨系统理论的一些体会	涂元季	137
从现代科学技术体系看今后智能系统的工作	戴汝为	143
以系统思维初探信息工程中的面向对象技术	汪成为	157
系统观念与信息系统工程	柳克俊	166
软系统工程方法论与软运筹学	顾基发 唐锡晋	170

系统工程的社会实践.....	汪 浩	179
系统工程在国民经济决策分析中的应用.....	邓述慧	187

第 三 部 分

对新产业革命深探一步的尝试		
——人类历史在坚稳的过程中终将进入文化发展		
牵引经济的时代.....	罗沛霖	193
对于“经营管理”的“系统思考”		
——意识的重要性.....	刘源张	207
系统科学与系统工程的跨世纪挑战		
——社会经济系统复杂问题.....	汪应洛	220
集约型增长的系统观.....	王浣尘	229
复杂经济系统的演化分析.....	方福康	239
协商理论发展与现况.....	陈 珺 郭文革	255

第 四 部 分

典范方程组和阻碍集		
——从线性到扰动.....	廖山涛	279
模糊数学的若干深化理论和方法.....	汪培庄	291
钱学森关于科学与艺术的新见地.....	钱学敏	310
用系统思维的方法理解钱学森的农业型知识密集产业理论		
.....	刘 恕 田裕钊	328
论地理系统与地理建设.....	瞿宁淑 张 超	339
创建人体科学.....	陈 信	351
人口发展系统.....	朱广田	364
现代作战模拟:寻求科学与经验相结合的解答	王寿云	377
用系统思想统筹军民结合.....	柴本良	393

控制论和系统科学与中国的缘分

宋 健

(国家科学技术委员会,北京 100862)

科学界很多人认为,相对论、量子论和控制论是 20 世纪上半叶的三大科学伟绩,是人类认识和改造世界的三大飞跃。控制论是系统工程、系统科学的基础构件,后者又是多学科的综合集成。

—

控制论的出现,通常都认为从维纳 1948 年出版第一本书开始^[1]。但梁诚瑞在“维纳的控制论和清华大学”一文中考证说,“控制论并非如人们所知道的那样产生于美国,它的发端在中国的清华大学”^[2]。梁先生引用维纳于 1954 年出版的回顾科学生涯的书《我是一个数学家》中的自述,他宁愿选择在清华大学任客座教授的 1935 年作为创立控制论的起点。他在清华与李郁荣教授合作研制滤波器时,开始了对控制论的研究。正是在清华大学,维纳实现了从纯数学领域向电机工程和技术科学的转变。

1960 年在莫斯科举行 IFAC 第一届世界代表大会时,维纳应邀参加了《哲学问题》杂志编辑部举行的关于控制论的座谈会。当被问到:“创立控制论时,是否出现过某些哲学思想的影响?”维纳回答说:“在哲学家中有一个人,如果他活到今天,毫无疑问,他将

研究控制论。这个人就是莱布尼茨。”德国数学、哲学家莱布尼茨(G. W. Leibniz, 1646~1716)最早试图用数学形式建立逻辑推理体系,发明过二元算术计算方法(1678年)。据察,莱布尼茨于1697年通过耶稣会理士白晋得到过中国的《易经》,研究过“圆圆方位图和六十四卦次序图”,受到启发。白晋(Joachim Bouvet)当时是康熙宫内的法国传教士,受命返回欧洲,系统地向莱布尼茨介绍了中国的古代哲学^[3]。在《莱布尼茨全集》第四卷第一期上有他给友人的一封信,其中有对《易经》的评论,他还写过《论中国人的自然哲学》长篇文章。梁诚瑞的结论是:“控制论的直系祖先是欧洲的莱布尼茨,其哲学基础来自《易经》”。司马迁《报任安书》中有:“盖文王拘而演《周易》”,《周易》是周文王被囚于羑里时的著作。

控制论与中国的这两层缘分或许还可以做进一步考证。但维纳能摆脱“反动分子”、“伪科学家”的形象,而以胜利者的姿态去莫斯科出席 IFAC 第一次代表大会,则确实是工程控制论的创始人钱学森先生的功劳。维纳的控制论发表后,在哲学界曾引起轩然大波。此书副标题是“动物和机器中的控制和通信”(Control and Communication in the Animals and the Machine)。人也是动物,把人和机器并列,以至等同起来,有褻渎人类尊严之嫌,惹怒了不少哲学家,就像哥白尼把地球从宇宙的中心搬到太阳系的一个角落而触怒了教皇一样。前苏联的哲学界首先发起攻击,称控制论是一种反动的伪科学,是现代机械论的一种新形式(见前苏联《哲学辞典》,第四版,1954年)。还有更严重的批评说,控制论是为帝国主义服务的战争工具等(见1954年前出版的《苏联大百科全书》)。这位数学家在前苏联和东欧被视为反动的伪科学家和帝国主义的帮凶。鉴于当时世界形势,未见有人公开辩论过。

1954年,钱学森出版了《工程控制论》^[4],迅速地被译成中、俄、德文版。作者系统地揭示了控制论对自动化、航空、航天、电子通信等科学技术的意义和深远影响。书内未触及到人类这种动物

的尊严,写的全然是技术科学。包括前苏联在内的世界各国科学界立即接受了这一新学科,从而吸引了大批数学家、工程技术专家从事控制论的研究,推动了五六十年代该学科发展的高潮。庞特里亚金的极大原理^[5]和卡尔曼^[6]的可观、可控性定理和递推滤波器等,都是在此期间内出现的。在这种形势下,原持批判态度的哲学家们只好放下武器,悄悄修改了各辞书中的词条,肯定控制论是一门“研究信息和控制一般规律的新兴科学”。

1957年在巴黎成立IFAC筹委会,中国是发起国之一,由钟士模和杨嘉墀代表中国参加会议。选出了第一届理事会。钱学森当选为第一届理事会成员。1958年在瑞士举行理事会,由屠善澄代表钱学森出席。1960年9月在莫斯科举行IFAC第一届世界代表大会,中国派出了以吴汝扬为团长的大代表团。全世界控制论科学家咸集于莫斯科大学礼堂。维纳受到了英雄般接待。66岁的他,已显得苍老。听别人作报告时鼾声大作,毫不顾及自己是人们注视的焦点。见到中国代表团时,热情地用中国话讲,他1935年在清华大学做过教授,为此感到骄傲。各国与会者,钱学森的崇敬者和故交,都为钱学森不能出席这盛会感到遗憾。钱学森当时担任国防部第五研究院院长,受命领导建立中国航天科学事业,他无暇顾此。且值中苏关系剧变,1960年8月苏刚撕毁协议,撤走专家。周总理和聂帅不会同意这位中国航天事业的科技主帅去冒无谓的风险。与会者只好相互吟诵《工程控制论》序言中史诗般的名句来表达对他的敬意:“建立这门技术科学,能赋予人们更宽阔、更缜密的眼光去观察老问题,为解决新问题开辟意想不到的新前景”。

钱学森从1935年起,在美国工作了20年,为美国的航空、火箭科学技术作出了卓越贡献。50年代初受到美国反动政府的迫害,被迫离开了国防尖端技术研究,受困达5年之久。在困境中,他转向工程控制论的研究。最近他还说,研究工程控制论只是为了转移美国特务们的注意力,争取获准回归祖国。当时没有想到建立一

门新科学。

二

在周恩来总理的关怀下,为营救钱学森,中国政府与美国进行了多年的斗争。美国在朝鲜战争失败后,才释放了钱学森。1955年他回到祖国后,向党中央建议发展中国的火箭技术,中央采纳了他的建议。1956年10月成立国防部第五研究院,12月钱学森受命为院长,1957年又兼任五院一分院院长。中国航天事业开始了40年的胜利征程,在中国科技发展史上写下了光辉的一页。他是中国航天事业的发起人、奠基人和科学主帅。新闻界和科学界尊之为“中国航天科技之父”。1991年国务院和中央军委授予他“国家杰出贡献的科学家”称号和一级英雄模范奖章。

在控制论科学理论和应用领域取得巨大成就的同时,信息技术和运筹学并驾齐驱,出现了相互渗透和融合的趋势,应用范围从工程领域延伸到工程管理系统,形成了“系统工程”的科学概念和方法。钱学森敏锐地注意到这种态势,在世界上第一本关于系统工程的著作出现以前^[7],在钱学森的直接主持下,在国防部五院创立了总体设计部,按系统工程的方法组织实施火箭、导弹、卫星等复杂系统的论证、研制、试验和交付工作。正如他后来总结的那样:“系统工程是组织管理‘系统’的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法,是一种对所有‘系统’都有普遍意义的科学方法。我国国防尖端技术的实践,已经证明了这一方法的科学性”^[8]。

在钱学森的主持下,50年代末,在国防部第五研究院成立了作战运筹研究室。按他的倡议,1956年在力学所成立了由许国志主持的运筹学组,后来扩大成研究室。1961年在中国科学院数学所成立了由关肇直主持的控制论研究室。以清华大学为首,各高等

学校建立了一批自动控制系或专业,开始大规模地培养青年人才。中国后来 30 多年发展的实践充分证明了这些措施的正确性和远见性。

世界著名的数学家华罗庚是我国系统工程开拓者之一。60 年代初,经过对运筹学和系统工程的考察,开创了统筹学的研究与探索,提出了“大统筹、理数据、建系统、策发展”的研究方向,以极大热情投身于研究和普及统筹法、优选法(双法)的理论和应用,丰富了系统工程的内涵,成为其重要组成部分。苏银成最近在“统筹学的形成及其影响”一文中详细记述了华罗庚的贡献^[9]。在十年内乱期间,华老已年过花甲,置个人安危与艰难于不顾,颠沛流离,为在中国大地上发展和洒播科学思想和方法,树立了一位卓越科学家的不朽风范。

由于钱学森担负责任的重大,十年动乱期间,受到了周总理亲切而有力的保护,得以不间断地履行职责,减少了航天事业的损失。骇浪之下难全舟。浑噩中的迷惘,风云突变的惶遽,直言和噤噤之失衡,科学逻辑与“政治运动”的碰撞,以及研讨厅习俗与政治传统的冲突等,他都碰到过。得益于周总理的指导,使他摆脱世间烦扰,专心致志于科学和技术工作。1968 年 2 月中央军委决定成立空间技术研究院,钱学森兼任第一任院长。1966 年 10 月 27 日用导弹发射的原子弹试验成功。1970 年 4 月 24 日,中国第一颗人造卫星“东方红一号”发射成功。此后 8 年中国连续成功地发射了 8 颗卫星。1980 年 5 月 18 日中国的洲际导弹向太平洋试验区发射成功。航天事业 70 年代取得的新成就,是中国航天事业的光荣,科技界的骄傲。

60 年代以来,由于微电子和计算机技术迅猛发展和广泛普及,渗透到社会生产、生活和科学技术的每一角落,带动了与系统科学相关的各学科的突飞猛进。各国很多科学家开始研究系统科学。von Bertalanffy 的一般系统论^[10],I. Prigogine 等人的热动力学

系统论^[11], H. Haken 的协同论^[12]等, 是欧洲各国关于系统论的代表作。80 年代以来, 对系统工程和系统科学的研究和应用在中国进入了一个新的高潮, 在物理、数学、经济、军事、法律、教育等领域中都有科学家参与^{[8]、[13]}。钱学森密切注意着系统科学的发展, 于 1979 年总结了系统科学的体系结构, 阐明了它与马克思主义哲学和自然科学、社会科学的关系。钱学森和他的合作者们王寿云、于景元、戴汝为、汪成为、钱学敏、涂元季等广泛地研究了系统科学的结构、内涵、应用等方面的命题, 指明了这门科学对中国现代化建设的现实和长远的重大意义。

计算机技术的发展和取得的成就一直令科学界惊讶不已。1994 年 8 月, 在英国, 一台带有 Genius-2 软件的微计算机战胜了连续保持了四届的世界象棋冠军 Gary Kasparov。这在科学史上是一次具有历史意义的事件。1996 年 2 月, 这位世界冠军又在美国与 IBM 的微机对弈。参加这次比赛的计算机是由华裔科学家 Feng Hsuing Hsu 主持的一个小组研制的“Deep Blue”系统。结果 Kasparov 以三胜一负二平的比分获胜。他终于报了前年的一箭之仇。他曾经声明, 绝不能让计算机获胜, 这是为了“保护人类的尊严”。这话过于傲慢, 他是向科学挑战, 最终是要失败的^[14]。

计算机会做的事越来越多, 倒是向系统科学提出了严峻的挑战。自然界有很多复杂的巨系统, 科学界至今不能理解它, 不会准确地描述它, 还没有合适的工具和手段。如社会系统、生态系统、生物进化系统, 特别是人体系统。美国有人开始对复杂的巨系统进行广泛研究, 尚未见有重大突破^[15]。钱学森和他的合作者们提出了处理复杂巨系统的方法, 把理论、经验和专家判断结合起来, 从定性到定量综合集成 (Meta-Synthesis), 以及“从定性到定量综合集成研讨厅体系”等。这是由信息采集、处理、存储和智能专家系统综合集成的人机系统。综合集成方法为解决复杂巨系统的定量研究指出了一条可行的道路。

三

近年来,让系统科学界最为兴奋的是,许多政治家开始广泛地应用系统科学的概念、理论方法和语言去处理政治问题。每当遇到复杂的社会问题时,政治家们常说:“这是一个系统工程问题,应该用系统的观点和方法进行分析和解决。”他们常求教于系统科学家,即使这些人以前从未涉及这个领域。

1991年在瑞士由WMO(World Meteorological Organization)召开的关于如何防止地球变暖的会议上,当时的英国首相撒切尔夫人在讲演中表示,作为一名学化学出身的政治家,她主张应该注意到海洋吸收了最大量的二氧化碳,因而海洋对全球变暖有负反馈作用。这就是说在估算全球大气温度变化的数学模型中,如果不考虑这个反馈因素,那么这种预测必然是不准确的。她认为她有资格作这样的判断。当时我在现场,很欣赏她能恰当地使用系统科学的概念和语言。

1994年4月我率团去美国访问,曾会见了美国副总统戈尔。他一直十分关注环境问题。当谈到中美关系时,他说,我们需要科学家应用系统科学的方法来帮助解决这些问题。同时我注意到,在他的专著《平衡中的地球》(*Earth in the Balance*)中,多次用到“反馈环”和正负反馈等概念来分析政治性问题^[16]。

江泽民主席是一位非常优秀的电力工程师,并通晓控制系统理论的原理。他多次要求中国政府官员在处理复杂问题时,要学习和应用系统工程的理论和方法来寻求解决办法。

过去30年间微电子和计算机科学的巨大进展,带动了智能系统理论和工程的发展,为所有产业的迅速进步创造了条件。系统科学早已超出最初在生产和技术领域的应用范围,成为现代科学技

术研究和人类所有智力活动最有力的武器。它无处不在,人们片刻也离不开它。

正因为如此,控制和系统科学家和工程师们有理由感到欢欣,把酒临风,不计荣辱,振奋精神,迎接新的挑战。

假如有人问:真的有一些现实中的社会问题是应用系统科学的方法得以解决的吗?我的回答是:“有,有很多”。

四

我们都知道控制科学在经济学中有着成功的应用。好几位经济学家因在计算经济学领域的杰出工作而获诺贝尔奖,他们大多得益于控制及其相关理论的应用。

下面我将简要回顾曾使经典人口学家震惊的发源于中国的案例——控制科学在人口学中的应用。

自 1798 年托马斯·马尔萨斯发表他著名的《人口论》^[17]以来的近 200 年间,人口学一直被归属于社会科学的范畴。在马尔萨斯的《人口论》出版 100 年后的 1911 年,由 F. Sharp 和 A. Lotka 建立了第一个简单的人口动力学方程^[18]。此后又过了半个多世纪, P. Leslie(1945)^[19]、J. Pollard(1973)^[20]、D. Falkenberg(1973)^[21]等学者才成功地建立了比较精确描述人口系统的动力学方程。从那时起,开始有众多的数学家和工程师进入人口学研究领域,包括 N. Keyfitz^[22]、A. Coales^[23]、E. Pielou^[24]及其他学者们在人口动力学研究中所取得的成绩。

在本世纪,尤其是第二次世界大战以后,世界人口数量的惊人增长引起了全世界的科学界和政治家们的普遍关注。1994 年 9 月,联合国在开罗召开了包括各国政府首脑、科学家、人口学家以及非政府组织在内的“联合国人口与发展国际会议”,讨论的焦点