

系统工程论文集

《系统工程论文集》编委会 编

科学出版社

82

86

73.72
205

系统工程论文集

《系统工程论文集》编委会 编

科学出版社

1981

内 容 简 介

本文集共有论文二十二篇,涉及到国民经济中的许多领域,其中系统理论六篇、人口一篇、军事工程四篇、技术工程三篇、经济一篇、企业管理四篇、生态一篇、评论一篇;既有学术论文,又有结合工作实践的研究报告。

本文集可供从事系统工程的专业人员、一般科技人员以及从事组织管理工作的干部参考。

系 统 工 程 论 文 集

《系统工程论文集》编委会 编

责任编辑 李淑兰

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1981年7月第 一 版 开本:787×1092 1/16
1981年7月第一次印刷 印张:8 3/4
印数:0001—6,730 字数:202,000

统一书号:15031·343

本社书号:2165·15—8

定价: 1.40 元

前 言

一九七九年十月十一日至十七日,在北京召开了国防科委系统工程学术讨论会。参加这次会议的代表来自国防部门以及全国一些科研、教育和生产单位。这本书所登载的论文就是在这次会议上所宣读的论文的一部分。

自本世纪五十年代以来,先后出现了一些庞大而复杂的工程研制项目。这些项目要靠成千上万人协同工作,因而需要一个指挥从总体的观点出发来协调个人的活动,以便把这些活动最终综合成技术上合理、经济上合算、研制周期短、并能协调运转的系统。这种总体工作的实践,体现了一种科学方法,后来就在西方被称为系统工程。

系统工程在一些具体项目中的实践取得了显著效果以后,就受到多方面的重视。例如在国外,一些原来多年从事空间计划的科技工作者在积累了经验以后,便将其应用于城郊运输甚至医疗卫生系统。系统工程所触及的范围便日趋广泛。在国内亦复如此,这仅从发表于本书中的论文,就可见一斑。

事实上,系统工程应该理解为一大类工程技术的总称;如同传统的工程技术可以分为土木工程、机械工程等等,系统工程也可以分为企业系统工程、军事系统工程等等。这本论文集就是按照这个方式编辑的。对于一件新事物有着不同的看法,这是极为自然的事。这种不同看法的存在,正是加深认识的最好推动力。在这次会议上对此有所讨论,而种种看法在以下发表的各篇论文中也有所反映。但有一点是共同的,即系统工程将对我国的四个现代化发挥很大的作用。

在这次会议上决定由下列同志组成编委会负责本论文集的编辑工作:

召集人: 许国志 (中国科学院系统科学研究所副所长)

成 员: 陈 珽 (华中工学院副院长)

宋 健 (信息和控制研究所所长)

严筱钧 (一机部自动化所副总工程师)

余潜修 (海军大连一海校教授)

凌如镛 (六机部系统工程部工程师)

顾基发 (中国科学院系统科学研究所运筹室副主任)

联络员: 柴本良 (系统工程理论与实践杂志编辑)

最后,我们对国防科委的王寿云同志深致谢意。从编委会一成立,王寿云同志就多方协助,提出不少宝贵意见。国防科委其他的同志对本论文集的编辑、校样等工作付出了大量的辛勤劳动,谨此深表谢意。

《系统工程论文集》编委会

目 录

大力发展系统工程,尽早建立系统科学的体系·····	钱学森 (1)
复杂系统的辨识与控制(提纲)·····	关肇直 (8)
论事理·····	许国志 (12)
数学的机械化与机械化的数学·····	吴文俊 (18)
大系统理论中的几个问题·····	陈 珏 秦寿康 张正方 傅明辉 邓聚龙 (22)
多目标决策及其应用·····	顾基发 金良超 (32)
人口动态过程的控制和大系统结构·····	宋 健 王浣尘 于景元 李广元 (40)
潜艇与水面舰艇的作战模拟·····	许心文 (50)
某型舰对敌机低空水平轰炸最优防御的初步探讨·····	孙绍光 黄姓惠 熊吉光 (56)
舰船武器系统的评价方法·····	凌如镛 (62)
军事指挥与控制的系统工程·····	柳克俊 (67)
现代控制理论在宏观经济学中的应用·····	张钟俊 侯先荣 (72)
经济系统的投入产出分析·····	陈锡康 (77)
信息流与物流——企业管理的系统工程·····	刘源张 (83)
系统工程的一种重要方法——计划协调技术·····	陶家渠 潘元利 姚慰瑾 郭富印 (86)
计算机辅助企业管理在我公司的初步实践·····	红安公司计算机辅助企管课题组 (95)
事理系统工程和数据库技术·····	宋 健 (103)
系统工程在机械工业中的应用·····	严筱钩 (110)
金属露天矿山系统工程研究概况·····	常本英 (119)
HCS 系统——“系统工程”在造船上应用的初步尝试·····	元存贤 范皆备 (124)
生态系统与系统分析·····	马世骏 李典谟 (129)
关于如何在我国开展系统工程科学研究的几点意见·····	刘 豹 (135)

大力发展系统工程, 尽早建立系统科学的体系

钱 学 森

关于系统工程的重要性, 现在大概没有什么不同意见。但必须说明: 正如大家在会议中多次讲了的, 系统工程是技术, 它只能在适当的社会制度和国家组织体制下发挥作用。建立这种制度和体制是生产关系和上层建筑的问题, 是系统工程的前提, 没有这个前提, 系统工程再好也无能为力。当然, 我们从系统的观点, 可以提出对改革的建议。另外, 因为系统工程是个新生事物, 所以大家对其涵义、范围等, 说法不一, 例如有的同志就罗列了八种不同的解释^[1]。当然, 一个问题大家意见不同, 并无坏处, 可以交流讨论, 互相启发, 认识可以因而深化。我在这次会议中就因为听了同志们的报告, 看了一些会议材料而深受教育, 现在也是抱着参加讨论的目的, 作个发言。我的总想法是: 我们搞科学技术应该用马克思主义哲学为指导, 因此考虑问题一定要从马克思列宁主义、毛泽东思想的立场、观点和我国的实际出发, 不能一味跟外国人走; 他们搞不清的, 我们应该努力搞清楚, 他们不明确的, 我们要讲明确, 而且要力求符合大道理。当然, 我在这里说的一定有不妥当的地方, 也会有错误的地方, 还要请大家批评指正。

我觉得我们首先应该搞清楚“系统”这个概念。在国外, 有那么一些人一说到系统工程中的系统, 总好象是二十世纪的新发现, 是现代科学技术所独特的创造。这在我们看来, 自然不能同意, 因为局部与全部的辩证统一, 事物内部矛盾的发展与演变等, 本来是辩证唯物主义的常理; 而这就是“系统”概念的精髓。以前在科学技术中不注意系统概念的运用, 正是受了科学技术早年历史的影响。恩格斯就讲过: “旧的研究方法和思维方法, 黑格尔称之为‘形而上学’的方法, 主要是把事物当做一成不变的东西去研究, 它的残余还牢牢地盘踞在人们的头脑中, 这种方法在当时是有重大的历史根据的。必须先研究事物, 而后才能研究过程。必须先知道一个事物是什么, 而后才能觉察这个事物中所发生的变化。自然科学中的情形正是这样。认为事物是既成的东西的旧形而上学, 是从那种把非生物和生物当做既成事物来研究的自然科学中产生的。而当这种研究已经进展到可以向前迈出决定性的一步, 即可以过渡到系统地研究这些事物在自然界本身中所发生的变化的时候, 在哲学领域内也就响起了旧形而上学的丧钟。”^[2] 恩格斯还把这一认识上的飞跃称为“一个伟大的基本思想, 即认为世界不是一成不变的事物的集合体, 而是过程的集合体。”^[3] 这里, 恩格斯讲的集合体不就是我们讲的系统吗? 恩格斯强调的过程, 不就是我们讲的系统中各个组成部分的相互作用和整体的发展变化吗? 而恩格斯的这些光辉论述写于一八八六年初, 距今大约一百年了!

其实,马克思、恩格斯、列宁和毛主席的著作中还有许多这方面的论述,我们现在搞系统工程一定要熟悉这些论述,作为强大的理论武器。我们要认识到系统这一概念,来源于人类的长期社会实践,首先在马克思主义的经典著作中总结上升为明确的思想,而决不是什么在二十世纪中叶突然出现的。

系统有自然界本来存在的系统,如太阳系,如自然生态系统,这就说不上系统工程;系统工程是要改造自然界系统或创造出人所要的系统。而现代科学技术对系统工程的贡献在于把这一概念具体化。就是说不能光空谈系统,要有具体分析一个系统的方法,要有一套数学理论,要定量地处理系统内部的关系。而这些理论工具到本世纪中叶,即四十年代才初步具备;所以系统工程的前身,即 Operations Analysis, Operations Research 到二十世纪四十年代才出现。当然系统工程的实践一旦产生实际效果,社会上就有一股强大的力量推动它发展,因此也就促使系统工程理论的发展,理论与实际相互促进。现代科学技术对系统工程的又一贡献是电子计算机,没有电子计算机的巨大计算能力,系统工程的实践将几乎是不可能的;系统工程的许多进一步发展还有待于性能更高的计算机的出现。这就是系统工程的历史:马克思主义先进思想所总结出的系统概念孕育了近六十年的时间,到本世纪中叶才终于具备了条件,开出了一批花朵。要获取丰硕的果实,尚有待于我们今后的精心培育。

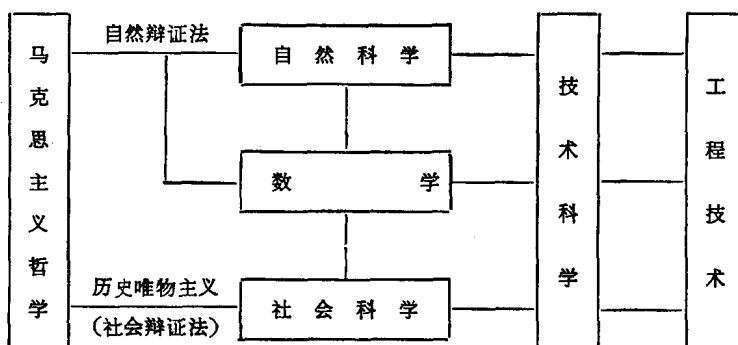
二

系统工程是工程技术,是技术就不宜象有些人那样泛称为科学。工程技术有特点,就是要改造客观世界并取得实际成果,这就离不开具体的环境和条件,必须有什么问题解决什么问题;工程技术避不开客观事物的复杂性,所以必然要同时运用多个学科的成果。一切工程技术无不如此。例如水力工程,它要用水力学、水动力学、结构力学、材料力学、电工学等,以及经济、环境、工农业生产等多方面的知识。所以凡是工程技术都是综合性的,综合性并非系统工程所独有。有人说系统工程是“高度综合的”,这一说法也许由于系统工程综合了人们本来认为好象不相关的学科,一旦习惯了,也可以把“高度”这两个字省略。

系统工程是一门工程技术呢?还是一类包括许多门工程技术的一大工程技术门类?我倾向于后一种意见。因而各门系统工程都是一个专业,比如工程系统工程是个专业,军事系统工程是个专业,企业系统工程是个专业,信息系统工程是个专业,经济系统工程(社会工程)是个专业;要从一个专业转到另一个专业当然不是不可能,但要有一个重新学习的阶段。这就如同干水力工程的要转而搞电力工程要重新学习一段时间才能胜任。既然不是一门专业,提“系统工程学”这样一个词就太泛了。这如同说一个人专业是“工程学”,那人们会问,他专长的是哪一门工程?因此我认为不必在系统工程这个一大类工程技术总称之后加一个“学”字,以免引起误解,好象真有一门工程技术叫系统工程学。我不想在系统工程后面加一个“学”字,也还有另外一个意思,那就是想强调系统工程是要改造客观世界的,是要实践的。

系统工程这一大类工程技术有没有共同的学科基础呢?如果有,又是什么呢?我认为为了更好地回答这个问题,我们先来考虑一下工程技术和其基础理论之间的关系;也就

是现代科学技术的体系学^[4]。我认为现代科学技术包括马克思主义哲学、作为它和自然科学和数学之间桥梁的自然辩证法、作为它和社会科学之间桥梁的历史唯物主义(社会辩证法)、自然科学、数学、社会科学,然后是技术科学、工程技术。这个体系的结构可以用下图来表示:



从这个现代科学技术总体系来看,系统工程是工程技术,问题是什么技术科学是其共同的理论基础?许国志、王寿云和我在《文汇报》的文章^[5]中提出称这一共同基础为运筹学,我们当时也指出这是借了一个旧有的名词,也就是国外叫 Operations Research 而我们以前把它译作运筹学的这个词。老的运筹学包括了某些系统工程的内容,如军事系统工程,那是历史的原因。我们的运筹学不包括系统工程的内容,而只包括了工程工程的特殊数学理论,即线性规划、非线性规划、博弈论、排队论、库存论、决策论、搜索论等。运筹学是属于技术科学范畴的。

自动控制是建立在系统概念上的。尽管如此,我们在《文汇报》的文章中没有明确地把自动控制的理论,控制论作为系统工程的一个主要理论基础。这是照顾到现阶段的一个具体事实:一个系统当然有人的干预,在概念上可以把人包括在系统之内,但现在理论的发展还没有达到真能掌握人在一定情况下的全部机能和反应,所以把人包括到系统之中还形不成通用的理论;另一方面,系统工程的目前水平又一般地要有人干预,包括有时要发动群众出谋献策,所以还不能一般地搞一个没有人的系统,完全自动化。由于这些原因,我们虽然认为控制理论的大系统以至巨系统、多级控制发展是很有意义的,一定要提倡,但控制论作为系统工程的主要理论基础恐怕还有待于将来。我这样说只是想实事求是,决不是没看到开发系统工程这一重要领域的,国内国外,都有不少来自原来搞自动控制、研究控制论的人;他们能敏锐地抓住这一科学技术的新发展,超出自己原来工作的范围,这应该受到欢迎。

除了运筹学这个系统工程的重要共同理论基础之外,又一个重要共同基础是计算科学和计算技术。

有的同志要把这两类各门系统工程的共同基础连同其他数学工具通称为“系统工程学”,我认为这样做不一定妥当,名词和内容不相符。因为系统工程的理论基础,除了共同性的基础之外,每门系统工程又有其各自的专业基础。这是因为对象不同,当然要掌握不同对象本身的规律:例如工程系统工程要靠工程设计,军事系统工程要靠军事科学等。这里用表把各门系统工程和与之对应的特有学科基础列出来。

系统工程的专业	专业的特有学科基础
工程系统工程	工程设计
科研系统工程 ^[4]	科学学
企业系统工程	生产力经济学 ^[6]
信息系统工程 ^[7]	信息学、情报学
军事系统工程 ^[8]	军事科学
经济系统工程	政治经济学
环境系统工程 ^[4]	环境科学
教育系统工程 ^[4]	教育学
社会(系统)工程 ^[9]	社会学、未来学 ^[10]
计量系统工程	计量学
标准系统工程	标准学
农业系统工程 ^[11]	农事学 ^[11]
行政系统工程	行政学(?)
法治系统工程	法学

从表中可以看出各种系统工程横跨了自然科学、数学、社会科学、技术科学和工程技术,发展系统工程需要各个方面的科学技术工作者的通盘合作和大力协同。我们这次会议有社会科学家参加,人数虽然不多,但意义重大。也因为这个原因,我觉得刘源张同志在这次会议中讲得好,他指出:工厂企业等的管理问题都涉及到人,而人是社会的人,受他所处社会的影响;因为中国的社会不同于外国的社会,我们在许多系统工程的实践中千万不要忽视这个差别。

三

表中列了十四门系统工程,其实还不全,还会有其他的系统工程专业,因为在现代这样一个高度组织起来的社会里,复杂的系统几乎是无所不在的,任何一种社会活动都会形成一个系统,这个系统的组织建立、有效运转就成为一项系统工程。同类的系统多了,这种系统工程就成为一门系统工程的专业。所以我们还可以再加上许多其他系统工程专业。

表中前一半七种系统工程大家可能比较熟悉,不需要解释。后七种系统工程中的第一种是教育系统工程,那是专门搞一所学校,一个地区的学校以及一个国家教育系统的组建、管理和运转的,它的特有学科基础是作为社会科学的教育学。我认为薛葆鼎同志在这次会议的报告中说的宏观经济规划问题,就是社会系统工程。社会系统工程也可以简称社会工程^[9],是组织和管理社会主义建设的;也就是在中央决定一个历史时期的大政方针之后(例如现在我国要实现四个现代化),社会工程要设计出建设总图,并制订计划、规划;它特需的理论学科是社会学和未来学^[10]这两门社会科学。计量系统工程和标准系统工程是搞一个地区、一个国家的计量和标准体系的,他们的组织、建立和正常执行,这在现代社会已成为非常重要的职能。包括农、林、牧、副、渔的农业,其重要性是无疑的了,但现代农业作为一种系统工程、农业系统工程是张沁文同志^[11]的建议;我认为这个建议很好,要支持。农业系统工程的特有理论,张沁文称为“农事学”。这些思想在我们这次会议中的马世骏同志和李典谟同志的文章^[12]也讲到了。行政系统工程是说在社会主义制度下,行

政工作、机关办公完全可以科学化,加上现代档案检索技术,也可以计算机化。计算机可以拟出文件或批文草稿,可能包含几种抉择,供领导采用;它的理论也许是行政学吧。社会主义法治要一系列法律、法规、条例;从国家宪法直到部门的规定,集总成为一个法治的体系、严密的科学体系,这也是系统工程,法治系统工程;它的特有基础学科是法学。从我国目前实现四个现代化所迫切需要解决的问题来看,这后三门系统工程关系到农业发展,关系到提高行政效率,关系到加强社会主义法制,其重要性是很明显的。

当然目前系统工程概念具体化才不过十几年,只有表中头几种系统工程专业算是建立了,有了一些比较稳定的工作方法,算是有些教材可以教学生。大概从环境系统工程开始,往下这八种系统工程,有的尚在形成,有的只不过是一个设想,要靠我们今后的努力才能实现,但我在这里大胆地把他们列入表中,而且宣称还有许多未列而必然在将来会出现的系统工程专业。这是否有点冒失?我认为从马克思、恩格斯早在一百年前奠定的系统概念来看,加上运筹学的迅速发展,以及电子计算机技术的突飞猛进,我们的提议是不过分的。为了四个现代化,我们一定要大力发展系统工程的各个专业。

我们在去年^[1]就是基于这样一个认识才提出要组建“理”“工”结合的专修组织管理专业的高等院校,并提出将来我们国家不是设几所这样的组织管理学院,而是几十所,上百所各有所专的各种组织管理学院,就如现在有综合性的理工院校、也有专业性的航空工程学院、船舶工程学院、通信工程学院等。此外也还要建相应的中等专业学校。这将是教育事业中的一次重大革新。从这次会议来看,这一变革已经开始了,系统工程教育已得到教育部的关怀和重视,得到发展。全国已有十几所高等院校设置了系统工程方面的课程,上海机械学院设置了系统工程系,在西安交通大学、清华大学、天津大学、华中工学院、大连工学院、上海化工学院还成立了系统工程的研究所或研究室。在军队学校中已有国防科学技术大学建立了系统工程和数学系。其他一些军队院校也都开展了系统工程的工作。有了这个开始,我想不要几年就会有我国第一所“理”“工”结合的组织管理学院了。我建议把这件事列入国家的第六个五年计划。

发展系统工程还需要加强这方面工作人员之间的学术交流,开展学术讨论。我们这次会议也是一次成功的活动。现在已有几个学会和研究会很重视系统工程,如航空学会举办了系统工程和运筹学讨论班,自动化学会有系统工程委员会,中国金属学会采矿学术委员会成立了系统工程专业组,管理现代化研究会也举办了系统工程的讨论会。可以说学会活动已经开展起来了。是否还有需要成立一个专业的系统工程学术组织,我们大家可以考虑。

但为了宣传和交流系统工程的工作,我想我们应该办好一个系统工程的科学普及性刊物和一个系统工程方面的学术性刊物。我们还要出版一套系统工程方面的丛书。所谓系统工程方面是指系统工程和其共性的理论运筹学,以及有关的计算机技术,如何落实,逐步做到,也要请大家提出意见。

四

从我以上的阐述来看,系统工程可以解决的问题涉及到改造自然、改造、提高社会生产力、改造、提高国防力量、改造各种社会活动,直到改造我们国家的行政、法治等等;一句

话,系统工程涉及到整个社会。所以我们面临由于系统工程而引起的社会变革决不亚于大约一百二十多年前的那一次:那是因为自然科学的发展壮大,从而创立了科学的工程技术,即把千百年来人类改造自然的手艺上升到有理论的科学,由此爆发了一场大变革。系统工程是一项伟大的创新,整个社会面貌将会有一个大改变。

当然,我们现在仅仅在这一过程的开端,象我们以前已经提到的那样,我们现在能够看到的只是很小的一部分,就是表中所列举的十四种系统工程也不过是系统工程全部中的一部分。也因为同一理由,我们说到的也不一定确切,十四种系统工程的划分也会在将来的实践中有调整。但更重要的一点是系统工程一定会在整个社会规模的实践中对理论提出许多现在还想不到的问题,系统工程的理论还要大发展。这又有两个方面:一个方面是对每一门系统工程所特有而联系着的学科,正如表中所示,他们有的是自然科学或从自然科学派生出来的技术科学,但看来将来会更多地是社会科学或主要从社会科学派生出来的技术科学;这里有大量的新学科。另一方面,作为系统工程的方法理论的运筹学更会有广泛的发展,因为实践会对它提出更高的要求。正如前面已经讲过的,系统工程将来一定会更多地用控制论,不但用工程控制论,而且用社会控制论。我们还要创造一些特别为系统工程使用的数学方法,特别是在统计数学和概率论等不定值的数学运算方面。计算数学也会因系统工程实践而有某些特定方面的发展。

这样说来,系统工程所带动的科学发展是一条很广泛的战线,不是一种、几种学科,而是几十种学科。日本的科学家们提出了一个新名词,叫“软科学”^[13]。我们的日本朋友没有明说,但我想这“软”字大约来自“软件”吧?因为这些学问是以信息的处理为主要对象的,是搞“软”的,不象我们以前所熟悉的自然科学总是同物质运动的速度、力、能量等打交道的,是搞“硬”的。所以我们在上面说的这一大套学科技术,似乎也可以借用“软科学”这个词来概括。但我进一步考虑:从系统工程改造客观世界的实践,提炼出一系列技术科学水平的理论学科,能就到此为止了吗?要不要更概括更提高到基础科学水平的学问呢?例如运筹学会不会引出理论事理学,控制论(包括工程控制论、生物控制论、社会控制论和人工智能等技术科学)会不会引出理论控制论呢?这个可能是存在的,就在这次会议上许国志同志^[14]的报告就明确地指出:不同事物、不同过程的事理,通过精确的数学处理,从理论上发现其相似性,这个相似性难道不会引出更深刻的、潜在的具有普遍意义的新概念吗?物理学的能的概念不就是这样产生的吗?目前强子理论的研究,不是通过量子色动力学提出“真空”不空的新概念吗?所以应该承认完全有可能出现理论事理学和理论控制论,那用“软科学”这个词就显得局限了些,深度不够。另外,要看到系统里面也有许多“硬件”,并不象“软件工程”专搞软件那么“软”。所以不宜用“软科学”这个词,我们应该回到系统这一根本概念,采用“系统科学”这个词。系统科学是并列于自然科学和社会科学的,是基础科学。

建立系统科学这个概念之后,我们就有了一个学科的体系,可以从整个学科体系的结构来考虑问题,也就是参考前面的图,来研究系统科学的发展。这样,从系统科学这一类研究系统的基础科学出发,结合其他基础科学,我们组成一系列研究系统共性问题的技术科学;也许这些学问可以统称为系统学^[15]。现在的系统学主要是运筹学。与系统科学有关的还有各门系统工程特别联系着的技术科学学科和社会科学学科。直接搞改造客观世界的学问就是各门系统工程了。

这也就是说,上图中的科学技术体系只是目前的状况,不包括我们在上面讲的这一发展。到二十一世纪,基础科学不能只是自然科学、社会科学、数学这三大类,还得加上系统科学一类。其实,几十年后,一定还会有其他变化,例如在这次会议上,吴文俊同志^[4]提出要把数学机械化,就是一个振奋人心的革新。当然马克思主义哲学在得到科学技术新发现、新发展的充实、发展和深化之后,仍然是指导一切科学技术的基础理论。

辩证唯物论的认识论教导我们:客观世界是不以人们的意志而独立存在的,人可以通过社会实践逐步认识客观世界,而当人掌握了客观世界的运动规律之后,又能能动地利用这些规律来改造客观世界,并在实践中检验我们认识的正确性。我在这里提出大力发展系统工程,尽早建立系统科学体系的论点,符合不符合马克思主义的认识论呢?要不要这样干呢?这有没有体现了一百年前恩格斯的伟大思想呢?这都是很值得思考的一些问题。这次会议的讨论给了我们很多启发,但我们在会后还应该继续研究,力求把稳发展方向。大家努力吧!

参 考 文 献

- [1] 沈泰昌,“关于‘系统工程的概念’的命题”,《系统工程与科学管理专集》(四)。
- [2] 恩格斯,“路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结”,《马克思恩格斯选集》,第四卷,240—241页。
- [3] 同上,239—240页。
- [4] 钱学森,“科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学”,《哲学研究》,1979年第一期,20—27页。
- [5] 钱学森、许国志、王寿云,“组织管理的技术——系统工程”,《文汇报》,1979年9月27日,一、四版。
- [6] 于光远,“关于建立和发展马克思主义‘生产力经济学’的建议”草稿。
- [7] 钱学森,“情报资料、图书、文献和档案工作的现代化及其影响”,《科技情报工作》,1979年第七期,1—5页。
- [8] 钱学森、王寿云、柴本良,“军事系统工程”,《系统工程与科学管理专集》(三)。
- [9] 钱学森、乌家培,“组织管理社会主义建设的技术——社会工程”,《经济管理》,1979年第一期,5—7页。
- [10] 沈恒炎,“一门新兴的综合性学科——未来学和未来研究”,《光明日报》,1978年7月21日,22日,23日。
- [11] 钱学森,“现代化和未来学”,《现代化》,1979年。
- [12] 张沁文,“农业系统工程。农事学”,[尚未发表]。
- [13] 马世骏、李典谟,“生态系统与系统分析”,本次会议上宣读的论文。
- [14] 刘英元,“软科学”,本次会议上宣读的论文。
- [15] 许国志,“论事理”,本次会议上宣读的论文。
- [16] 顾基发、周方,“浅谈运筹学与系统学”,《航空知识》,1979年第七期,5—7页。
- [17] 吴文俊,“数学的机械化与机械化数学”,本次会议上宣读的论文。

复杂系统的辨识与控制(提纲)

关肇直

(中国科学院系统科学研究所)

一、引言

一个系统怎样才叫做复杂? 会有很不同的理解。我们从几个方面来看系统的复杂性: 由系统的状态所体现的复杂性; 由系统的不同部分的不同时间标度所表现的复杂性; 由种种不确定性带来的复杂性以及由系统的非线性带来的复杂性。

我们着重谈工业系统和自然界的系统, 这里强调系统的动态行为。

二、从信息处理、系统辨识到系统控制

当要控制一个系统时, 首先要获得关于系统的有关信息。因此首先关心的是信息的获取, 信息的处理乃至信号的识别等。这里不仅要设计种种仪表来获取所要的信息, 还包括既定仪表的如何利用, 例如包括设计系统的运转方案以获得最多的信息或如何放置仪表以提供尽可能多的信息等等。信息的处理当前也是迫切的实际问题: 往往试验做得不少, 也获得了不少信息, 但没有很好地处理它以取得对系统的更多的认识。

这里还涉及信号识别乃至一般的模式识别, 即如何从取得的信号以辨识信号源是哪一种类型。在模式识别中很重要的问题是特征提取, 即要选取特征, 使得便于分类和识别。这里不仅关心计算机的使用, 还要考虑识别的方法。

有时对系统的动态摹写也不清楚, 需要首先解决系统的辨识问题, 即通过试验确定系统的摹写、或称数学模型。过去, 在物理学等基础自然科学中, 人们习惯于从基本原理推导出现象的定量摹写。但“物理学家是在自然过程表现得最确实、最少受干扰的地方来考察自然过程的, 或者, 如有可能, 是在保证过程以其纯粹形态进行的条件下从事实验的。”(马克思:《资本论》第一卷第一版序言)。在现代工程中, 往往做不到从基本原理推出现象的完整的数学描述, 而要从系统的一组输入输出数值来确定数学模型。这就补充了从原理出发之不足。系统辨识的思想反过来会影响自然科学的研究。我们认为系统辨识的思想是非常重要而基本的。

如果不仅认识自然, 还要改造自然, 就不仅需要描述自然界固有的运动, 还要把人为的外力, 即控制, 加到自然界上。这样, 控制超出了原来自动控制的范围。当然有些系统目前还谈不上控制。

总之, 信息、辨识和控制是研究系统的基本概念。

近年来国内有些同志研究了大系统, 特别考虑了大系统的分散控制、分层递阶控制

等。本文则从另外角度看待复杂性。

三、分布参数系统

分布参数的特点乃是其中的状态不是用一组有穷多个数量刻画,用数学的说法,即系统状态不表达成有穷维矢量,而是一种场——经典物理学中的场,例如温度场、浓度场、连续介质的速度场、弹性变形等。场要用无穷多个参数表达;在大多数场合,参数分布于一个空间区域上,即作为场,它不仅随时间变化,而且随空间位置变化。正因为这样,称这种系统为分布参数系统或无穷维系统。后一名词反映了物理上的无穷自由度。对于处理这种系统,数学中有现成的、专门研究无穷自由度系统的定量行为的工具,即研究无穷维线性空间及其中的变换(映像、算子)的分析学——泛函分析。从有穷维系统发展到无穷维系统,其复杂性可以说是一种飞跃。国内温度控制,弹性振动的控制的工作属于分布参数系统的控制,油田储层参数与储层面积的辨识乃是典型的分布参数系统的辨识问题。

在分布参数系统中有时不仅涉及一种场,而是同时涉及两种以上的场,它们交互作用。例如涉及流体的问题中,往往同时考虑温度。地球大气就是在太阳辐射作用下一个自行镇定、自寻最优运转状态的系统,其描述包括气流速度场、温度场、压力场等等。一个小小的液浮陀螺的温度控制也呈现了类似的复杂性。

即使受控系统是分布参数的,若控制回路由电阻、电容等构成,则仍是集中参数系统。这种闭回路系统是分布参数系统与集中参数系统的耦合。又如在导弹的弹性振动控制中,弹性变形造成的局部角度、角速度与弹体刚性运动的姿态角及其变化率同时由敏感元件感受而被输送进控制回路形成反馈,因而实际系统中耦合的部分包括了弹性振动、刚性运动与控制器三个部分。又如深湖的湖沼模型也是集中参数系统与分布参数系统的耦合:为了把湖水中的温度、水藻、营养物、溶解的氧以及其它相互作用的水品质成份,随空间位置和随时间的变化计算出来,必须把流体流动,热与质量的传递,空气与水相互作用以及化学的、生物学的反应等等的详细数学描述作出来,从而必须把生物学、水化学与水文学的种种概念有机地且适当地组合起来以便建立水品质模型。这里自然也是集中参数系统与分布参数系统的耦合。

分布参数系统与大家所熟悉的集中参数系统有着许多本质的不同。如果就集中参数系统来说,完全能控性与完全能观测性都是系统本身的整体属性,那末,对于分布参数系统来说,能控性、能观测性则分别与控制器和量测仪表在系统中所安放的位置有关。于是还要提出新的问题:量测仪表的最优置放,即把它们置放在怎样的位置上才能提供极大量的信息。分布参数系统的辨识自然也与能观测性有关。

对于分布参数系统来说,控制量有时只能加在边界上,这叫做边界值控制,若边界的位置本身就是控制量,则叫做边界控制。同样有边界值观测(只能量测边界上的变量值)与未知边界值乃至未知边界的辨识问题。

过去,作为初步近似,有些系统被描述成集中参数系统,例如化学反应中不计各化学组分的浓度随位置的变化。但更确切的考虑必须把它看作分布参数的系统。实际上,前面已经指出,化学组分的浓度是场。同样,平常把电力系统看作大规模的集中参数系统。但当研究电力站馈入主传输线的发电方案的最优控制时,为了使发电系统经济运转,必须

随载荷分布按时间的变化调整各发电源的发电水准（在关于极大发电容量的限制之下）。这样的问题仍是分布参数系统的控制。

有时系统的状态并非是有穷维或无限维线性空间中的元，而属于一微分流形。例如在考虑大角度姿态控制时，由于三维空间旋转在大角度时不满足矢量加法的规律，它们不能看作线性空间中的元。这就要用微分几何工具来研究这种系统的控制与辨识。

四、多重时间标度问题

大系统常包括许多大、小回路，这些局部的闭环反馈系统的时间常数互不相同，有时甚至相差很大。这就叫做多重时间标度的问题。特别当系统很大或很复杂时，若不考虑时间标度的数量级之不同就会带来很多麻烦，例如原子核反应堆是很复杂的动态系统，其中各部分的时间常数相差很大，中子动力学是快过程，时间常数约为 0.1 秒。执行元件与代表动力学的典型时间常数是几分之一秒到一秒。燃料的热动力学是几秒的数量级。减速剂与冷却剂通道中热传递以及水力学是几秒钟到一分钟的数量级。通过热线路的热传递则需一至几分钟。氙振荡的时间周期是几天。由燃料消耗引起的停烧现象的时间标度还要更长。

近年来，应用数学中的奇异摄动法，多重时间标度法、匹配渐近展开法对处理这类问题显示了力量。

五、带种种不确定因素的控制系统

系统中不确定因素的出现带来了复杂性，这里简略地谈几种不确定性：

1. 带随机干扰的控制系统

这是带不确定因素的控制系统理论中发展得较早的一种。受控系统的摹写远非理想，有模型噪声出现，量测仪表也带来了量测噪声。在很多情况下，往往能假定这两种噪声的统计特性事先可以知道。在研究这类系统的反馈时，首先依靠量测数据与系统的动态模型作出系统状态的极小方差估计，然后用状态的估计值代替不确切知道的状态本身来作反馈，以实现闭环控制。这种先估值（滤波）再反馈（控制）的分两步走的作法叫做分离原理。这种处理方法当模型噪声与量测噪声的统计特性知道得较确切时效果显著。

对于雷达一类的热噪声，用高斯模型或其稍稍的推广是可以的，于是用极小方差递归滤波（即 Kalman 滤波）及其各种推广或简化形式很有效。但量子电子学的发展、激光的发明使得有可能在光学频率上作信息传输。在这种频率范围中，量子能量 $h\nu$ 与热能 kT 的大小相比拟，量子效应成为重要的。因此在设计处理量子信号的系统时必须超出像热噪声那样的经典限制。这种量子随机滤波器需用概率算子值测度等较高的数学工具。

2. 环境的变化引起的不确定性

例如飞机在空中飞行时遇到预料以外的气流，使原设计的控制系统不适用了，甚至造成失控。在实用上，要求控制系统有自行调整其控制方案以适应环境变化的能力。目前

已能使用的自适应控制器共有两种：模型参考系统与自校准调节器。后者自己实时辨识出来环境变化并按照环境新情况自行校准其调节作用。国外这种办法在自适应自动驾驶仪的设计上与工业过程控制上均已实用，很有成效。

3. 模糊系统与模糊控制

另一种不确定性能用近年发展起来的模糊集论处理，并已用于图象识别等方面。

六、非线性系统

过去常把非线性系统线性化，例如环绕某种标称状态线性化——仅考虑其对标称状态的偏离量。但线性的分析方法常会丢失一些重要现象。近年各种不同学科领域中非线性系统的研究与数学中非线性分析与微分形理论的发展结合，使得对许多非线性自然现象与工程现象获得了更深刻的认识。这种定性的方法与数值分析、计算机仿真密切结合，将使我们非线性这种复杂系统能较好地掌握。

多种非线性问题中出现分岔现象。非线性问题一般有多重解。在有多重平衡点的情形，外界的干扰能使系统从一个平衡状态跳跃到另一个平衡状态，而当这些平衡状态有的稳定，有的不稳定时，系统就有可能失稳。在数学描述下，依赖于某参数的非线性方程随参数变化走过某临界值时可能从仅有唯一平衡解过渡到有多重平衡解，或随参数的变化在原来平衡解处出现周期解，即极限环或振荡。生物学中许多振荡属于这种类型。

一个值得关心的问题是系统的结构稳定性。粗略地说，系统叫做结构稳定是指其状态方程的微小扰动不改变方程解的几何模式，或不改变其临界点的类型。法国数学家 R. Thom 的突变理论讨论了结构稳定性，值得从系统科学的角度注意。从分岔、突变理论研究生态系统，已受到注意。

还有比利时 I. Prigogine 的理论也值得注意。他从化学反应、生物现象等研究结构、稳定性与起伏，并认为稳定性也是社会学、经济学所关心的。他认为自然规律有两种形式：一种适用于平衡状态附近的情形，这里热力学起着统治作用，其演化导致任何组织的不断解体，即初始条件所引进的结构逐渐消失；另一种适用于远离平衡状态的情形，例如在生物学、社会学中，进化使组织逐渐增加，导致创造出更为复杂的结构。这些看法显然也应是系统科学工作者所应关心的。

非线性系统的研究在国外已经很热闹，值得我们关注。

七、结束语

以上只是用提纲方式提出复杂系统研究中值得关心的一些问题。由于时间限制，这里对于涉及的各问题都不能详述了。详细的阐述以及有关参考资料将另外发表。

论 事 理

许 国 志

(中国科学院系统科学研究所)

早期的运筹工作,由于战争年代的形势迫切,所以解决实际问题多,探讨事物的规律少。当然,由于经验的积累,也总结出一系列解决某些问题所必需遵循的途径,这些途径和步骤就成为今天系统工程中所谓方法论的先驱。在第二次世界大战结束以后,吸收了一些早有发展的学科构成了今天的运筹学。当时之所以吸收那些学科,而且在经过了数十年的实践检验以后,不但没有分离,而且仍有发展,这就说明其中必有共性。这个共性不妨称之为事理。

事物总有其一定的规律,物有物理,事有事理。近半个世纪以来,在科学上,不仅在物的方面(硬的方面)有了飞跃的发展,而且更重要的是对事的(软的)重要性的认识。众所周知,运筹学这一名词在本世纪三十年代末期之所以出现,是由于雷达预警系统的研制。在研制过程中,首先发现,若仅重视信号接收效果的好坏与否,而忽视了信号的传输与显示,则整个预警系统仍将是无效的。这一个朴素的系统概念孕育着现代运筹学的诞生。接着在发展过程中,发现雷达预警系统在技术上(硬的方面)是完好的,而在使用上(软的方面)仍有待于进一步的研究。于是把这一类工作取名为 Operational Research (后来美国人称之为 Operations Research),其目的是研究雷达系统的有效使用。

早期的运筹工作,绝大部分是围绕着武器系统分析、武器系统估价等问题,实质上是武器系统的有效使用的研究。当时参预这些工作的物理学家,不再研究物质的运动,而是探讨人员的调运;在生物学家眼光中,飞机的服役,因战斗损伤而退役维修,修复后重行服役,这一切一切有如生物的生死过程。这样,一些理化科学和生物科学中习用的方法,便被采用来进行事理的探讨。

现实生活中,有着比比皆是的现象、概念和活动,其规律从未予以科学地探讨,或者仅研究了它在某些特殊问题上的体现,而未加以深化的概括,如拥挤现象、优化概念、具有策略性的竞争活动,合作的或非合作的,以及决策问题。这些事的规律,在目前都有了初步的探讨。

拥挤现象,也可以称为随机聚散现象,这就是排队论所研究的对象。1908年,丹麦哥本哈根的电话工程师,由于电话业务的需要,首先研究了这个问题。用日常生活中的语言可叙述如下。一些顾客来到服务台希望得到服务。在一个顾客到达以后,到下一个顾客到达之前,这一段时间间隔是一个具有一定概率分布的随机变量,设其数学期望为 a 。在得到接待后,其占用服务台的时间,也是一个随机变量,其概率分布的数学期望值为 b 。在单一服务台的情况下,令 $\rho = b/a$,这个无量纲数称为爱尔朗数,是一个衡量系统拥挤程度,或忙闲程度的指标,就如同流体力学中的雷诺数是描述层流和紊流的分野一样。设到