

科学决策

与系统工程

中国系统工程学会编

中国科学技术出版社

科学决策与系统工程

中国系统工程学会编

赠
化
学
可
会
館



3K598/10

查金荣

90.8.

中国科学技术出版社

内容简介

《科学决策与系统工程》一书是为推动我国经济建设科学决策化和民主化的需要而编辑出版的。全书收集了 145 篇文章，主要内容包括科学决策，决策支持系统和专家系统，系统工程理论，系统工程应用等方面。它是从事计划、经济、管理等专业工作者的较全面的参考资料；是科技、应用数学、系统工程工作者的新参考书；尤其对各级领导提高科学的决策水平有重要的参考价值。

*

中国科学技术出版社出版（北京海淀区白石桥路 32 号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

廊坊胶印厂印刷

*

开本：787×1092 毫米 1/32 印张：39.4 字数：1110 千字

1990 年 7 月第一版 1990 年 7 月第一次印刷

印数：1-3000 册 定价：25.00 元

ISBN 7-5046-0172-1/G.19

41516

序 言

人们在进行各种活动之前经常要作出各种各样的决策。错误的决策会给人们带来不良的后果，而作为国家、部门或地区的领导如果作出错误的决策，其后果有时甚至会影响到几代人。因此，我国党政领导不断要求各级干部努力提高决策的科学水平。古今中外不少伟大的政治家、军事家、外交家和企业家曾作出过许多卓越的决策，至今仍为人们所传颂与借鉴。但是形成系统的决策的科学方法和理论则是本世纪 50 年代前后的事。有关科学的决策涉及内容很多，诸如科学的决策程序，各种科学的决策方法，合理的决策组织，古今中外优秀决策的经验总结与提高，各种现代化的辅助决策装备诸如数据库，管理信息系统，决策支持系统和专家系统等的设计、制造和运用等。决策科学的发展本身也经历过不同阶段。早期人们往往以定性地总结前人的优秀决策经验为主，出现了一批优秀的著作，诸如“孙子兵法”等。20 世纪二三十年以来，一直到六七十年代由于运筹学、系统工程和数理统计等的发展出现了不少好的定量化的科学决策方法。一方面他们可以比较精细地描述决策变量和状态变量同决策后果之间的关系，另一方面可以提供优化方法达到优化决策的目的。对于复杂的数学模型的计算，往往需要电子计算机来协助求解和处理数据。因此计算机成为应用决策方法不可缺少的工具，然而在七八十年代由于人们面临要解决的决策问题越来越大和越来越复杂，诚如本书中钱学森同志等的文章中指出那样，我们面临的不光是简单的系统，而且有“开放的复杂巨系统”，处理这类系统的决策单靠定量方法是不行的。因此钱老的文中提出要采用“定性定量相结合的综合集成方法”。这类方法“就其实质而言，是将专家群体（各种有关的专家）、数据和各种信息与计算机技术有机地结合起来，把各种学科的科学理论和人的经验知识结合起来”。这是当今国内外决策科学发展的重要趋势，本书自然也涉及和讨论了这个重要趋势。自然对于不是处理开放复杂巨系统的某些特殊类型的科学决策理论和方法同样需要发展。本书讨论了各种类型的新决策方法，诸如多目标决策、群决策、冲突分析、动态决策和随机决策等，也有讨论一般类型的决策方法。书中也收集了一些决策的应用实例。本书的第二部分涉及决策支持系统和专家系统等。尤其决策支持系统是七八十年代国际上最新发展起来的一种对科学决策很有效的辅助工具，它把数据库、模型库、知识库等结合起来，最后再加上人机对话的功能把决策者在决策时所表现出来的智慧、远见卓识和主观判断等都能融洽起来。我国近年来从国外，例如国际应用系统分析所（IIASA）引进一些高级决策支持系统，在国内自己也研制了一批决策支持系统，有的是为一些部门专用的，有的是地区专用的，还有的是为某项特殊用途而设计的。本书收集到其中一些影响较大的决策支持系统，有的已经在应用，有的还在进一步开发中，相信通过这些工作的介绍将对我国在决策支持系统方面的发展会起很好的作用。

本书的第三四部分介绍了我国系统工程的其他方面的理论和方法的新进展以及它们在社会、经济、工业、军事、农业、交通、信息、管理、科技、教育、水利、医学和法制等领域的应用。总计收集了 145 篇文章。这些文章是从 300 多篇来稿中考虑到各方面的代表性精选出来的，由于篇幅所限有不少好文章不得不割爱了，但是不管是否进入本书，我们对所有作者表示衷心感谢，同样对于本书的编委会以及编辑组全体同志为本书得以顺利出版所花的大量劳动表示感谢，最后感谢中国科学技术出版社为本书出版所付的一切辛勤努力。

本书将贡献给中国系统工程学会即将于今年八月召开的第六次年会。本书的出版又正欣逢我们学会成立 10 周年之际，因此它又是向学会成立 10 周年的献礼。回顾自 1980 年学会成立以来，我国系统工程在著名系统工程专家钱学森、宋健以及已故首届理事长关肇直先生等的努力和关怀下，从初创到逐渐成长，不论在理论和应用、普及和提高，组织与培养等方面都有了很大的进步。今天系统工程这个名词已经在全国普及开来了，对于那些人们一时难以解决、复杂而规模

庞大的问题，人们往往喜欢加上一句——这是一个××系统工程。当然在人们赞誉声中我们也深深感到了人们对我们进一步的期望，人们听惯了一般性专业名词后，希望看到有更深的理论研究工作以解释我们面临的一些复杂而不清的系统的现象，在看到了一些系统工程在各个方面的初步应用后希望能看到有更多、更深入真正的实际应用，任重而道远，中国的系统工程工作者让我们以更大的努力去创造新的 10 年、20 年、50 年……。

许国志 刘豹 陈珽 顾基发
1990.3.

目 录

科学决策

一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论	钱学森等	(1)
决策判定与政策科学	王慧炯	(9)
综合预测系统	刘豹	(13)
战略决策的组织行为学	汪应洛	(17)
评价方法综述	顾基发	(22)
群决策准则的探讨	程明熙	(26)
一般决策模型与概念性决策模型	李习彬	(29)
冲突的仲裁	陈甦	(33)
冲突分析的权衡得失比较方法	汪寿阳	(39)
系统动力学——复杂问题决策的工具	裴伟民等	(46)
一种对话式多目标模糊满意决策方法	孟波 陈甦	(49)
经典 AHP 标度的非线性修正及模糊推广	梁梁等	(53)
城市综合协调发展的 PC——AHP 决策方法	盛昭瀚等	(57)
协调对策的原理与方法——在资源系统分析中的应用	顾培亮 张帆	(61)
多目标资源分配协商对策理论在资源分配研究中的应用	曲晓飞 王众托	(65)
基于资源约束的 R&D 项目选择模型及其决策方法	冯俊文 顾昌耀	(68)
不完全信息条件下的多人递阶决策问题	张平平	(74)
信息的时间延滞对经济决策的影响分析	吴冲锋 王浣尘	(78)
VERT 仿真决策分析方法及其在空间工程系统中的应用	朱云凤等	(81)
三维目标决策判据函数及其在工程技术系统中的应用	张鹏 顾昌耀	(86)

决策支持系统与专家系统

决策支持系统: 问题和希望	赵纯均	(90)
试谈决策支持系统的研究和开发战略	席酉民等	(95)
政府办公决策支持系统开发研究	常本英等	(99)
关于科技计划系统分析及决策支持的一些问题	甘师俊 陈兆莹	(102)
规划支持系统	陈中基	(109)
分布式决策支持系统——理论与应用	陈甦等	(112)
应急决策支持系统研究	金瑞龄 袁辉	(116)
用批评法建立决策支持系统	罗雪山	(118)
评价决策支持系统探索	沈振刚 叶枫	(121)
群体决策支持系统的几个问题	夏国平	(124)
仿真模型体系与决策支持系统	冯珊 乐科	(128)
带专家知识库的决策支持系统	郑维敏等	(131)
大型工程项目的计划管理与决策支持系统	宁宝熙 余晓景	(138)

三峡工程决策支持系统总体设想	席酉民等	(141)
水利枢纽对外交通专家系统研制方案	胡嘉琪 赵占潮	(149)
有色金属探矿专家系统及其不确定知识的表示	高洪深	(153)
军队院校办学水平评估决策支持系统	索黎等	(157)
军队人力决策支持系统 JGF 设计与实现	陈英武	(161)
人力规划与决策支持系统方法和应用	谭跃进 顾廷富	(165)
De novo 规划及其在中国纺织工业规划决策支持系统中的应用	关嘉峪等	(168)
纺织工业外向型经济发展决策支持系统	吴翼平等	(172)
城市交通宏观决策系统的研究	贺国光 陆百川	(176)
城区配电网决策支持系统的设计与应用	寇纪淦 李敏强	(180)
县级综合发展决策支持系统的研制	徐家煌	(184)
中低产田调查改造的决策支持系统	马培荣	(190)
智能决策支持系统中知识库子系统的研究	韩文秀 刘淑华	(195)
智能决策支持系统结构设计方法探讨	朱仲英等	(199)
智能化决策支持系统及其实现研究	王晓华 吴伟雄	(203)
智能型交互式集成化决策支持系统	王众托	(206)
试论人工智能和决策支持系统的相互关系及其展望	王正欧	(210)
技术预测的智能模拟研究	蔡珣	(213)
决策支持系统中的模型自动生成与修改专家系统	王士明等	(218)
生产作业计划专家系统	严筱钧 严望平	(221)
FMS 在线调度专家系统	乐伟梁等	(224)
预测模型的选择及其智能化实现	王亮等	(231)
应用于 DSS 设计并支持决策分析的决策环境模型	席酉民 冯耕中	(237)

系统工程理论

大系统理论要创新	万百五	(243)
一般系统结构及其模型	吴健中 林福永	(245)
论系统进化与长波结构	朴昌根	(255)
研究复杂系统的新方法——自组织理论的应用	姚德民 梁俊国	(258)
克星循环	王浣尘	(262)
迷宫不稳定性的随机行走模型	顾国庆 余建华	(266)
系统动力学与混沌理论	王其藩 姚志平	(269)
非线性动态系统的稳定性参数扩张及其最优化——定性理论在林场 生产管理 SD 模型中的应用	苏愚康 王浣尘	(273)
经济系统的耗散结构观	冯珊	(277)
关于模型选择中的若干理论问题	张维	(281)
一类动态大规模非凸优化问题的分解算法及其应用	仲伟俊等	(284)
动态投入产出模型中的一种新的投资表示方法	邓三瑞 白明丽	(289)
广义系统最优问题中的动态规划方法	唐万生 李光泉	(293)
非线性理论在军队人才管理决策中的应用	田玉楚	(297)
微分对策问题开环解的新算法	郑丕谔等	(301)

两级多随从诱导决策问题及其求解	徐春晖 (308)
排队网络的建模及扰动分析	涂黎生 (312)
串行生产线扰动分析新算法及仿真研究	王秀峰 (318)
Job—shop 调度问题中综合性能指标下启发式调度的定量研究	乞敬焕 (322)
一般生产线的建模与性能分析	定清 涂黎生 (326)
历史横断面数据的时间序列化	陈赫 罗声求 (330)
过程系统工程的进展	陈丙珍 杨友麒 (333)

系统工程应用

多目标决策方法在区域规划系统动力学仿真中的应用	王义祥等 (340)
对发展的系统思考	李泊溪 (347)
国民经济固定资产投资模型研究	邓述慧 唐元 (351)
经济开发区环境规划总体模型研究	韩文秀 李木胜 (355)
中国经济联接(LINK)模型研究	蔡志军 夏绍玮 (359)
区域经济规划动态滚动模型	李德贵 李坚 (364)
我国通货膨胀问题的系统动力学探讨	朱敏 严广乐 (367)
关于商品生产与市场价格间动态关系的探讨	高隆昌 (370)
航天部利润及相关因素定量分析模型研究	李汉铃等 (374)
自动控制系统的技术经济评价	高紫光等 (381)
中国海洋经济总体发展战略研究	王其藩 程绪正 (385)
旅游经济系统的发展战略研究	孙多男 (390)
区域资源开发治理战略模型及其应用	戴云等 (395)
重化型市级经济发展战略——徐州市宏观计量经济模型的 构建与政策评价	刘惠生 朱如万 (398)
佛山市电子工业发展战略探讨	郭月心 黄韩夫 (403)
行业优先发展排序的研究——一种多目标决策的方法	赵景柱等 (407)
武汉市工业结构调整分析及其数学模型	武汉工业发展课题组 (411)
产业结构均衡与投资优化的决策分析	张沁文等 (415)
关于企业系统工程的两个问题	朱求长 (419)
我国城市化的效益分析	姚德民 王绍军 (422)
无迁移的城市劳动力系统分析	余道蓉 徐南荣 (427)
福建省人口发展现状、预测和对策	曾昭磐 (431)
上海市能源投入产出分析	张逸民等 (435)
东北经济区能源供应及电网调峰优化研究	叶元熙 宋红军 (439)
社会经济系统的综合预测方法	韩光文 (442)
试论战争过程的系统规律	罗雪山 (447)
空袭与防空作战对策的宏观定量分析	刘奇志 (450)
模糊决策与军事决策仿真	罗雪山 (455)
论经济系统总体设计及实施运转中的调控技术	朱志明 张好诚 (458)
国土规划的系统工程方法	王治祥 马云昌 (461)
县域国土资源系统分析	余石 (464)

实用数学规划模型.....	章志敏	(467)
黄淮海平原黑龙港类型区农业资源优化配置方案的决策.....	吕富保 由懋正	(472)
系统工程在松嫩平原三北防护林总体规划中的应用.....	陈世俊	(476)
系统工程在城郊型农业总体主设计中的应用.....	孙晓珍 王玉萍	(480)
持续发展原则下的一种区域规划——“生态县”规划的原理与实践.....	张永光等	(483)
动态仿真模型在平度市总体规划中的应用.....	郭宣智	(487)
朝阳市农业经济系统分析与诊断初探.....	刘新民	(492)
城市“肉禽蛋奶”自给生产系统仿真模型.....	尹琦等	(496)
大城市“对外交通系统”研究的理论与方法.....	张于心 张国伍	(501)
城市公共交通系统优化.....	杨冰等	(507)
交通流与交通网络的协调优化方法探讨.....	金松野	(511)
一种求实的公交网络优化方法.....	徐一飞 张国华	(514)
区域交通运输系统发展战略决策制定的理论与方法初探.....	张国伍等	(519)
黑龙江省主要物资的优化调运模型.....	胡运权 胡祥培	(524)
GRASP 仿真及在管理中的应用.....	邱莞华	(527)
系统优化管理制——广州白云山制药总厂经营管理决策系统研究.....	张一鸿	(531)
煤矿物资管理的系统工程方法——现代化矿井物资最优管理 和合理使用的实践.....	刘惠生	(536)
C—D 生产函数参数估计的一类优化算法.....	王应明 徐南荣	(541)
轻重工业最优协调比例的研究.....	王应明 徐南荣	(545)
一种新的多目标综合计划网络模型——全关键路线法 Full—CPM.....	邓贵仕	(550)
关于最低成本日程与最短工期问题.....	吴云从	(553)
企业间生产率比较研究.....	袁嘉新	(557)
我国自然科学基础性研究优先领域、重点课题综合评价.....	齐寅峰 张忠民	(564)
高等工科院校效益分析的方法论研究.....	朱佳生等	(569)
高校师资知识更新规划决策模型.....	钟宇楠	(572)
继续工程教育投资决策的系统动力学模型.....	杨治 邓三瑞	(576)
基于知识引导的师范教育规划模型.....	蓝红兵 费奇	(579)
城市供水决策模型的动态生成方法.....	汪时萍等	(584)
论网络计划技术电算程序的系统性特殊性实用性.....	付志安 吴庆阳	(588)
中型水库运行管理的随机动态决策方法问题.....	俞嘉第	(592)
区域水环境经济系统多目标递阶规划的产出预测变量法.....	达庆利 何建敏	(595)
河网水污染控制规划的二级递阶算法及其在苏南乡镇水质规划中的应用	张智光 达庆利	(600)
'88 上海市甲肝暴发流行 SD 模型及其系统分析.....	苏懋康等	(606)
医院管理中的随机网络仿真模型.....	杜瑞甫 修娟	(615)
系统工程在侦破工作中应用初探.....	龚翠萍	(620)
劳改系统的规划与决策研究.....	孙东川	(623)

一个科学新领域

——开放的复杂巨系统及其方法论

钱学森 于景元 戴汝为

(国防科工委) (航天部 710 所) (中国科学院自动化研究所)

近 20 年来, 从具体应用的系统工程开始, 逐步发展成为一门新的现代科学技术大部门系统科学, 其理论和应用研究, 都已取得了巨大进展^[1]. 特别是最近几年, 在系统科学中涌现出了一个很大的新领域, 这就是最先由马宾同志发起的开放的复杂巨系统的研究. 开放的复杂巨系统存在于自然界、人自身以及人类社会, 只不过以前人们没有能从这样的观点去认识并研究这类问题. 本文的目的就是专门讨论这一类系统及其方法论.

一、系统的分类

系统科学以系统为研究对象, 而系统在自然界和人类社会中是普遍存在的. 如太阳系是一个系统, 人体是一个系统, 一个家庭是一个系统, 一个工厂企业是一个系统, 一个国家也是一个系统……等等. 客观世界存在着各种各样具体系统. 为了研究上的方便, 按着不同原则可将系统划分为各种不同的类型. 例如, 按着系统的形成与功能是否有人参与, 可划分为自然系统和人造系统. 太阳系就是自然系统, 而工厂企业是人造系统. 如果按系统与其环境是否有物质、能量和信息的交换, 可将系统划分为开放系统和封闭系统; 当然, 真正的封闭系统客观世界中是不存在的, 只是为了研究上的方便, 有时把一个实际具体系统近似地看成封闭系统. 如果按系统状态是否随着时间的变化而变化, 可以将系统划分为动态系统和静态系统; 同样, 真正的静态系统在客观世界中也是不存在的, 只是一种近似描述. 若按系统物理属性不同, 又可将系统划分为物理系统、生物系统、生态环境系统等. 按系统中是否包含有生命因素, 又有生命系统和非生命系统之分等等.

以上系统的分类别然比较直观, 但着眼点过份地放在系统的具体内涵, 反而失去系统的本质, 而这一点在系统研究中又是非常重要的, 为此, 在[2]中提出了以下分类方法.

根据组成系统的子系统以及子系统种类的多少和它们之间关联关系的复杂程度, 把系统分为简单系统和巨系统两大类, 简单系统是指组成系统的子系统数量比较少, 它们之间关系自然比较单纯, 如某些非生命系统, 象一台测量仪器, 这就是小系统, 如果子系统数量较多 (如几十、上百), 如一个工厂, 这个系统可称作大系统. 不管是小系统还是大系统, 研究这类简单系统都可以从子系统相互之间的作用出发, 直接综合成全系统的运动功能. 这可以说是直接的作法, 没有什么曲折, 顶多在处理大系统时, 要借助于大型计算机, 或巨型计算机.

当子系统数量非常大 (如成千上万、上百亿、万亿) 则称作巨系统. 如果巨系统中子系统种

类不太多(几种、几十种)且它们之间关联关系又比较简单,这类系统称作简单巨系统,如激光系统.研究处理这类系统当然不能用研究简单小系统和大系统的办法,就连用巨型计算机也不够了,将来也不会有足够大容量的计算机.直接综合的方法不成,人们就想到本世纪初统计力学的巨大成就,把亿万个分子组成的巨系统的功能略去细节,用统计方法概括起来,这很成功,是 I. Prigogine 和 Haken 的贡献,他们各自称为耗散结构理论及协同学.

二、开放的复杂巨系统

如果子系统种类很多并有层次结构,它们之间关联关系又很复杂,这就是复杂巨系统.当这个系统又是开放的,就称作开放的复杂巨系统.例如:生物体系统、人脑系统、人体系统、地理系统(包括生态系统)、社会系统、星系系统等,这些系统无论在结构、功能、行为和演化方面,都很复杂,以至于到今天,还有大量的问题,我们并不清楚.如人脑系统,由于人脑的记忆、思维和推理功能以及意识作用,它的输入——输出反应特性极为复杂,人脑可以利用过去的信息(记忆)和未来信息(推理)以及当时的输入信息和环境作用,能够作出各种复杂反应,从时间角度看,这种反应可以是实时反应,滞后反应甚至是超前反应;从反应类型看,可能是真反应,也可能是假反应,甚至没有反应.所以,人的行为决不是什么简单的“条件反射”,它的输入——输出特性随时间而变化,实际上,人脑有 10^{12} 个神经元,还有同样多的胶质细胞,它们之间的相互作用又远比一个电子开关要复杂得多!所以美国 IBM 公司研究所的 E. Clementi 曾说^[3]人脑象是 10^{12} 台每秒运算 10 亿次的巨型计算机并联而成的大计算网络!

再上一个层次,就是以人为子系统主体而构成的系统,子系统还包括由人制造出来具有智能行为的各种机器.对于这类系统,“开放”与“复杂”具有新的更广的含义.

这里开放性指系统与外界有能量、信息或物质交换,说得确切一些:①系统与系统中的子系统分别与外界有各种信息交换,②系统中的各子系统通过学习获取知识.由于人的意识作用,使得子系统之间关系不仅复杂而且随时间及情况有极大的易变性.一个人本身就是一个复杂巨系统,现在又由这种大量的复杂巨系统为子系统而组成一个巨系统——社会.人要认识客观世界,不单靠实践,而且要用人类过去创造出来的精神财富,知识和掌握与利用是个十分突出的问题,什么知识都不用,那就回到 100 多万年以前我们的祖先那里去了.人已经创造出巨大的高性能的计算机,还致力于研制出有智能行为的机器,人与这些机器作为系统中的子系统互相配合和谐地进行工作,这是迄今为止最复杂的系统了.这里不仅以系统中子系统的种类多少来表征系统的复杂性,而且知识起着极其重要的作用,系统的复杂性可概括为:①系统的子系统间可以有各种方式的通讯;②子系统的种类多,各有其定性模型;③各子系统中的知识表达不同,以各种方式获取知识;④系统中子系统的结构随着系统的演变会有变化,所以系统的结构是不断改变的.我们把上述系统叫作开放的特殊复杂巨系统,即通常所说的社会系统.

系统的这种分类,清晰地刻划了系统复杂性的层次,它对系统科学理论和应用研究具有重大意义,从社会系统的最近研究中,也可以看出这一点.研究人这个复杂巨系统可以看作是社会系统的微观研究,而社会系统的宏观研究,根据马克思创立的社会形态概念,任何一个社会都有三种社会形态,即经济的社会形态,政治的社会形态,意识的社会形态,可把社会系统划分为三个组成部分,即社会经济系统,社会政治系统,社会意识系统.相应于三种社会形态应有三种文明建设,即物质文明建设(经济形态)、政治文明建设(政治形态)和精神文明建设(意识形态).社会主义文明建设,应是三种文明建设的协调发展^[4].这一结论无论在理论上还是在实践中都有重要意义.从实践角度来看,保证三种文明建设协调发展的就是社会系统工程.按着系统工程的定义,组织管理社会经济系统的技术,就是经济系统工程;组织管理社会政治系统的技术,就是

政治系统工程；组织管理社会意识系统的技术，就是意识系统工程。而社会系统工程则是使三个子系统之间以及社会系统与其环境之间协调发展的组织管理技术。从我国改革的现实来看，不仅需要经济系统工程，更需要社会系统工程。单纯的进行经济体制改革，不注意另外两个子系统的关联制约作用，经济体制改革难以成功，例如“官倒”、党内某些腐败现象、社会风气不正等等，都对经济体制改革造成了严重影响，以致于不得不来治理经济环境，整顿经济秩序。党的十三届五中全会提出的进一步治理整顿和深化改革，就是社会主义制度的自我完善，是中国社会形态的自我完善。这都说明了单打一的零散改革是不行的。改革需要总体分析、总体设计、总体协调、总体规划，这就是社会系统工程对我国改革的重大现实意义。

从以上列举的开放的复杂巨系统的实例中，可以看到，它们涉及到生物学、思维科学、医学、地学、天文学和社会科学理论，所以这是一个很广阔的研究领域。值得指出的是，这些领域的理论本来是分布在不同的学科甚至是不同的科学技术部门，而且均已有了较长的历史，也都或多或少地用本学科的各自语言涉及开放的复杂巨系统这一思想，如中医理论，但今天却都能概括在开放和复杂巨系统的概念之中，而且更加清晰更加深刻了。这个事实启发我们，开放的复杂巨系统概念的提出及其理论研究，不仅必将推动这些不同学科理论的发展，而且还为沟通这些理论而开辟了新的令人鼓舞的前景。

三、开放的复杂巨系统的研究方法

开放的复杂巨系统目前还没有形成从微观到宏观的理论，没有从子系统相互作用出发，构筑出来的统计力学理论。那么有没有研究方法呢？有些人想得比较简单，硬要把上一节中讲到的处理简单系统或简单巨系统的方法用来处理开放的复杂巨系统。他们没有看到这些理论方法的局限性和应用范围，生搬硬套，结果适得其反。例如，运筹学中的对策论，就其理论框架而言，是研究社会系统的很好工具。但对策论今天所能达到的水平和取得的成就，远不能处理社会系统的复杂问题。原因在于对策论中已把人的社会性、复杂性、人的心理和行为的不确定性过于简化了，以至于把复杂巨系统问题变成了简单巨系统或简单系统的问题了。同样，把系统动力学、自组织理论用到开放的复杂巨系统研究之中，所以不能成功，其原因也在于此。系统动力学创始人J. Forrester 自己就提出^[6]，对他的方法要慎重，要研究模型的可信度。但国内有些人对此却毫不担心，“大胆”使用。

另外，也有的人一下把复杂巨系统问题上升到哲学高度，空谈系统运动是由子系统决定的，微观决定宏观等等。一个很典型的例子就是“宇宙全息统一论”^[7]。作者们没有看到人对子系统也不能认为完全认识了。子系统内部还有更深更细的子系统，以不全知去论不知，于事何补？甚至错误地提出“部分包含着整体的全部信息”、“部分即整体，整体即部分，二者绝对同一”，这完全是违反客观事实的，也违反了马克思主义哲学。

实践已经证明，现在能用的、唯一有效处理开放的复杂巨系统（包括社会系统）的方法，就是定性定量相结合的综合集成方法，这个方法是在以下三个复杂巨系统研究实践的基础上，提炼、概括和抽象出来的，这就是：

(1) 在社会系统中，由几百个或上千个变量所描述的定性定量相结合的系统工程技术，对社会经济系统的研究和应用；

(2) 在人体系统中，把生理学、心理学、西医学、中医和传统医学以及气功、人体特异功能等综合起来的研究；

(3) 在地理系统中，把生态系统和环境保护以及区域规划等综合探讨地理科学的工作。

在这些研究和应用中，通常是科学理论、经验知识和专家判断力相结合，提出经验性假设

(判断或猜想),而这些经验性假设不能用严谨科学方式加以证明,往往是定性的认识.但可用经验性数据和资料以及几十、几百、上千个参数的模型对其确实性进行检测,而这些模型也必须建立在经验和对系统的实际理解上,经过定量计算,通过反复对比,最后形成理论,而这样的结论就是我们在现阶段认识客观事物所能达到的最佳结论,是从定性的认识上升到定量的认识.

从上所述,定性定量相结合的综合集成方法,就其实质而言,是将专家群体(各种有关的专家)、数据和各种信息与计算机技术有机结合起来,把各种学科的科学理论和人的经验知识结合起来,这三者本身也构成了一个系统,这个方法的成功应用,就在于发挥这个系统的整体优势和综合优势.

近几年,国外有人提出综合分析方法(Meta—Analysis)^[8],对不同领域的信息进行跨域分析综合,但还不成熟,方法也太简单,但定性定量相合的综合集成方法却是真正的(Meta—Synthesis).

四、综合集成法的实例

下面,我们以社会经济系统工程中,“财政补贴、价格、工资综合研究”为例,来说明这个方法及其应用,这个案例是成功的.

1979年以来,由于实行农副产品收购提价和超购加价政策,提高了农民收入,这部分钱是由国家财政补贴的.但是,当时销售价格没有作相应调整,结果是随着农业连年丰收,超购加价部分迅速增大,给国家财政带来了沉重的负担,是财政赤字的主要根源.这样,造成了极不正常的经济状态:农业越丰收,财政补贴越多,致使国家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.

财政补贴产生的这些问题,引起国家极大重视,有关部门提出,如何利用价格工资两个经济杠杆,逐步减少以至取消财政补贴,然而,调整零售商品价格必将影响到人民生活水平,如果伴以工资调整,又涉及到财政负担能力,市场平衡,货币发行和储蓄等.这些问题涉及到经济系统中生产、消费、流通、分配四个领域.

财政补贴、价格、工资以及直接和间接有关的各个经济组成部分,是一个相关联互相制约的具有一定功能的系统.调整价格和工资从而取消财政补贴,实质上就是改变和调节这个系统的关联、制约关系,以使系统具有我们希望的功能,这是系统工程的典型命题.

为了解决这个问题,首先由经济学家、管理专家、系统工程专家等参加,依据他们掌握的科学理论,经验知识和对实际问题的了解,共同对上述系统经济机制(运行机制和管理机制)进行讨论和研究,明确问题的症结所在,并对解决问题途径和方法作出定性判断(经验性假设),并从系统思想和观点把上述问题纳入到系统框架,界定系统边界,明确那些是状态变量、环境变量、控制变量(政策变量)和输出变量(观测变量).这一步对确定系统建模思想、模型要求和功能具有重要意义.

系统建模是指将一个实际系统的结构、功能、输入—输出关系用数学模型、逻辑模型等描述出来.用对模型研究来反应对实际系统的研究,建模过程即需要理论方法也需要经验知识,还要有真实的统计数据 and 有关资料.

有了系统模型,再借助于计算机就可以模拟系统和功能,这就是系统仿真,它相当于在实验室内对系统作实验,即系统的实验研究.通过系统仿真可以研究系统在不同输入下的反应、系统的动态特性以及未来行为的预测等等,这就是系统分析.在分析的基础上,进行系统优化,优化的目的是要找出为使系统具有我们所希望的功能的最优、次优或满意的政策和策略.

经过以上步骤获得的定量结果,由经济学家、管理专家、系统工程专家共同再分析、讨论和

判断, 这里包括了理性的、感性的、科学知识和经验知识的相互补充. 其结果可能是可信的, 也可能是不可信的. 在后种情况下, 还要修正模型和调整参数, 重复上述工作, 这样的重复可能是许多次, 直到各方面专家都认为这些结果是可信的, 再作出结论和政策建议. 这时, 既有定性描述, 又有数量根据, 已不再是先验的判断和猜想, 而是有足够科学根据的结论. 以上各步可用框图表示如图 1.

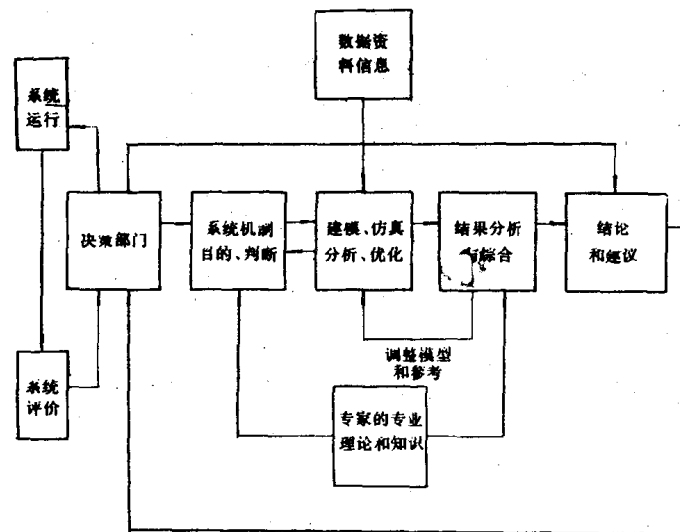


图 1

五、综合集成还可以用知识工程

如上所述综合集成的方法取得了很好的效果. 在解决问题的过程中, 专家群体、专家的经验知识起着重要的作用. 在以前, 如在前一节所举的实例中, 这一综合的过程还没有使用机器, 建立模型也是靠人动脑子思考. 现在看, 我们还可以进一步. 因为在一个系统中加入知识这一极其重要的因素, 就牵涉到知识的表达、知识的处理, 实际上就是知识工程的问题了. 知识工程是人工智能的一个重要分支, 解决问题的办法着眼点在于合理地组织与使用知识, 从而构成知识型的系统. 专家系统就是一种典型的知识型系统, 专家的一部分作用可以通过专家系统来实现, 所以专家系统也自然是系统中的子系统. 再进一步分析, 在前面关于系统分类的讨论中, 开放特殊复杂巨系统居于最高层次. 人作为这种系统中的子系统, 人不能脱离社会而存在, 随着社会的发展, 人类创造各种机器来代替体力劳动与部份脑力劳动, 其结果具有智能行为的机器必然也是子系统. 由人、专家系统及智能机器作为子系统所构成的系统必然是人机交互系统. 各子系统互相协调配合, 关键之处由人指导、决策, 重复繁重工作由机器进行. 人与机器以各种方便的通讯方式, 例如自然语言、文字、图形等进行人机通讯, 形成一个和谐的系统.

近年来知识工程领域中的一些专家认识到以往忽视理论的错误倾向, 已在探讨知识型系统研究的方法论问题. 知识工程中的核心问题是知识表达, 即如何把各种知识, 如书本知识、专门领域有关的知识, 经验知识, 常识知识等表示成计算机能接受并能加以处理的形式. 这是必须解决的基本问题. 知识型的系统与以往的动态系统不同, 它的特点是以知识控制的启发式方法求解问题, 不是精确的定量处理, 因为许多知识是经验性的, 难以精确描述. 对于知识型系统, 不能象以往的一些控制系统那样建立定量的数学模型, 而只能采用定性的方法, 如果系统中包括一些可

以定量描述的部件,那么也必然是采用定性与定量相结合的方法来进行系统综合.已有许多工作是利用定性物理的概念与建模方法来建立定性模型,进而研究定性推理^[8].定性建模是一种把深层知识进行编码的方法,关心的只是变化的趋势,例如增加、减少、不变等.定性推理指的是在定性模型上的操作动作,从而得到或预估系统的行为.这里着重的是结构、行为、功能的描述及它们之间的关系.到目前为止,已有三方面代表性的工作.一是 Xerox 公司的 De Kleer 等人从系统的观点出发提出以部件为主 (Component Centered) 的模型.认为系统最重要的特性是可合成性,从结构上系统由部件连接而成.系统的行为可由部件的行为推导而得出.作者致力于建立一种能进行解释与预估的定性物理系统.另一是 MIT 计算机科学实验室的 Kuiper 提出以约束为主 (Constraint Centered) 的模型.第三是 MIT 人工智能实验室的 Forbus 提出以进程为主 (Process Centered) 的模型.作者把引起运动和变化的原因等称为进程,致力于建立进程对物理过程影响的理论.知识工程中研究定性建模与推理的动机是研究常识知识、解决常识知识的表达、存贮、推理等,很多专家认为定性建模与推理的方法及理论研究很可能是解决利用常识知识的途径.1988 年欧洲人工智能大会把最佳论文奖授予关于定性物理模型和计算模型的论文,说明人们对这方面的研究所抱的希望.

实际上人工智能领域中有许多重要的工作是从系统的角度考虑的.有一种主张把人工智能的研究概括为是对各种定性模型(物理的、感知的、认知的、社会系统的模型)的获取,表达与使用的计算方法进行研究的学问^[9].这是系统科学观点的反映,当前人工智能领域中综合集成的思想得到重视.计算机统筹制造系统 (Computer Integrated Manufacture System),简称 CIMS 系统的提出与问世就是一个例子.在工业生产中,产品的设计与产品制造是两个重要方面,各包括若干个环节,这些环节以现代化技术通过人机交互在进行工作.以往设计与制造是分开各自进行的.现在考虑把两者用人工智能技术有机地联系起来,及时把制造过程中有关产品质量的信息向设计过程反馈,使整个生产灵活有效,又能保证产品的高质量.这种把设计、制造,甚至管理销售统一筹划设计的思想恰恰是开放复杂巨系统集成思想的体现.

总之,我们把系统的“开放性”和“复杂性”这两个概念拓广之后,对系统的认识就更加深刻,所概括的内容也就更为广泛.这种广泛性是从现代科学技术的发展,尤其是新兴的知识工程的发展中加以抽象和概括而得到的,有着坚实的基础与充分的根据.在我们阐明了开放特殊复杂巨系统属于系统分类中的最高层次之后,实际上就把系统科学与人工智能两大领域明显地加以沟通.这样一来各种以知识为特征的智能型系统,如互相合作的人工智能系统,分布式人工智能系统以及实时智能控制系统等都属于一个统一的、明确的范畴.这就有利于去建立开放复杂巨系统的理论基础,这是当代科学发展的必然结果.

六、开放的复杂巨系统研究的意义

从以上所述,定性定量相结合的综合集成方法,概括起来具有以下特点:

- (1) 根据开放的复杂巨系统的复杂机制和变量众多的特点,把定性研究和定量研究有机结合起来,从多方面的定性认识上升到定量认识.
- (2) 由于系统的复杂性,要把科学理论和经验知识结合起来.把人对客观事物的星星点点知识,综合集中起来,解决问题.
- (3) 根据系统思想,把多种学科结合起来进行研究.
- (4) 根据复杂巨系统的层次结构,把宏观研究和微观研究统一起来.

正是上述这些特点,才使这个方法具有解决开放的复杂巨系统中复杂问题的能力,因此它具有重大的意义,以下将着重讲讲这个看法.

现代科学技术探索和研究的对象是整个客观世界,但从不同的角度、不同的观点和不同的方法研究客观世界的不同问题时,现代科学技术产生了不同的科学技术部门.例如,自然科学是从物质运动、物质运动的不同层次、不同层次之间的关系这个角度来研究客观世界的.社会科学是从研究人类社会运动、客观世界对人类发展影响的角度去研究客观世界的,数学科学则是从量和质以及它们互相转换的角度研究客观世界的……等等,而系统科学是从系统观点,应用系统方法去研究客观世界的.系统科学作为一个科学技术部门,从应用到基础理论研究都是以系统为研究对象.在宏观世界,我们这个地球上,又产生了生命、生物,出现了人类和人类社会,有了开放的复杂巨系统.而这类系统在宇观世界也是存在的,例如银河星系也是一个开放的复杂巨系统.这样看来,开放的复杂巨系统概念,已经超出了宏观世界而进入了更广阔的天地.因此,开放的复杂巨系统及其研究具有普遍意义.但是,正如前面已经指出的那样,过去的科学理论都不能解决开放的复杂巨系统的问题,这也是有原因的,可以从历史中去找.

大家知道,长期以来不同领域的科学家们早已注意到,在生命系统和非生命系统之间表现出似乎截然不同的规律,非生命系统通常服从热力学第二定律,系统总是自发的趋于平衡态和有序,系统的熵达到极大.系统自发地从有序变到无序,而无序却决不会自发的转变到有序,这就是系统的不可逆性和平衡态的稳定性.但是,生命系统却相反,生物进化,社会的发展总是由简单到复杂、由低级到高级越来越有序.这类系统能够自发的形成有序的稳定结构.

两类系统之间的这种矛盾现象,长时间内得不到理论解释,致使有些科学家认为,两类系统各有各的规律,相互毫不相干,但也有些科学家提出:这种矛盾现象有没有什么内在联系呢?直到本世纪60年代,耗散结构理论和协同学的出现,为解决这个问题提供了一个科学的理论框架.这些理论认为,热力学第二定律所揭示的是孤立系统(和环境没有物质和能量的交换)在平衡态和近平衡态(线性非平衡态)条件下的规律.但生命系统通常都是开放系统,并且远离平衡态(非线性非平衡态),在这种情况下,系统通过和环境进行物质和能量交换引进负熵流,尽管系统内部产生正熵,但总的熵在减少,在达到一定条件时,系统就有可能从原来的无序状态自发转变为在时间、空间和功能上有序状态,产生一种新的稳定的有序结构,普里戈金称其为耗散结构.这样,在不违背热力学第二定律的条件下,耗散结构理论沟通了两类系统内在联系,说明两类系统之间并没有真正严格界限,表观上的鸿沟,是由相同的系统规律所支配,所以,Prigogine在其著作中指出,“复杂性不再仅仅于生物学了,它正在进入物理学领域,似乎已经根植于自然法则之中”^[10].Haken更进一步指出,一个系统从无序转化为有序的关键并不在于系统是平衡和非平衡,也不在于离平衡态有多远,而是由组成系统的各子系统,在一定条件下,通过它们之间的非线性作用、互相协同和合作自发产生稳定的有序结构,这就是自组织结构.

现代科学20年来的这一成就是十分重要的,它阐明了长期以来困惑着人们的一个谜.但也因为耗散结构,协同学理论的成功,使得不少人过份乐观,以为这种基于近代科学还原论出发的定量方法论也可以用到开放的复杂巨系统,从而碰壁!

在科学发展的历史上,一切以定量研究为主要方法的科学,曾被称之为“精密科学”,而以思辨方法和定性描述为主的科学称为“描述科学”.自然科学属于“精密科学”,而社会科学则属于“描述科学”,社会科学是以社会现象为研究对象的科学,由于社会现象的复杂性,使其定量描述很困难,这可能是它不能成为“精科学”的主要原因.尽管科学家们为社会科学由“描述科学”向“精密科学”过渡作出了巨大努力,并已取得了成效,例如在经济科学方面,但整个社会科学体系距“精密科学”还相差甚远,但从前面的讨论中可以看到,开放的复杂巨系统及其研究方法实际是把大量零星分散的定性认识,点滴的知识,甚至群众的意见,都汇集成一个整体结构,达到定量的认识,是从不完整的定性到比较完整的定量,是定性到定量的飞跃.当然一个方面的问题经过这种研究,有了大量积累,又会再一次上升到整个方面的定性认识,达到更高层次的认识,又一次

认识的飞跃。

德国著名的物理学家普朗克认为：“科学是内在的整体，它被分解为单独的整体不是取决于事物的本身，而是取决于人类认识能力的局限性，实际上存在着从物理到化学，通过生物学和人类学到社会学的连续的链条，这是任何一处都不能被打断的链条”。自然科学和社会科学的研究覆盖了这根链条。伟大导师马克思早就预言“自然科学往后将会把人类的科学总结在自己的下面，正如同关于人类的科学把自然科学总结在自己下面一样，正将成为一门科学，我们称这种自然科学与社会科学成为一门科学的过程为自然科学与社会科学的一体化”^[11]。我们可以说，开放的复杂巨系统研究及其方法论的建立，为实现马克思这个伟大预言，找到了科学的和现实可行的途径与方法。

在结束这篇讨论的时候，我们还要指出：这里提出的定性与定量相结合的综合集成法，不但是研究处理开放的复杂巨系统的当前唯一可行的方法，而且它还可用来整理千千万万零散的群众意见，人民代表的建议，议案、政协委员的意见、提案和专家的见解，以至个别领导的判断，真正做到“集腋成裘”。特别当我们引用它把零金碎玉变成大器——社会主义建设的方针、政策和发展战略，以至具体计划和计划执行过程的必要调节调整。这在本文第四节中讲的实例已见一个小小的开端，这样就是把多年来我们常提出的民主集中原则，科学地、完美地实现了。其意义是远远超出科学技术的发展与进步，这是关系到社会主义建设以至实现共产主义理想的大事了。人民群众才是历史的创造者！

参 考 文 献

- (1) 钱学森等：论系统工程（增订本），《系统科学与系统工程丛书》，湖南科学技术出版社，1988年。
- (2) 钱学森：基础科学研究应接受马克思主义哲学的指导，《哲学研究》，1989年10期3—8页。
- (3) New Scientist, 1988年1月21日期，68~69页。
- (4) 钱学森、孙凯飞、于景元：社会主义文明的协调发展需要社会主义政治文明建设，《政治学研究》，1989年5期。
- (5) Farrester J.W.: Future Development of the System Dynamics Paradigm, Theory and Application of System Dynamics, New Times Press.
- (6) 王存臻、严春友：《宇宙全息统一论》，山东人民出版社，1988年。
- (7) Hedges, L.Olkin, I.: Statistical Methods for Meta-Analysis, Academic Press (1985); Wolf F.M.: Meta-Analysis: Qualitative Methods for Research Synthesis, Sage, Beverly Hills, CA (1986); Rosenthal R.: Meta-Analytic Procedures for Social Research, Sage, Beverly Hills, CA (1984); Light, R.Pillemer, D.: Summing up: The Science of Reviewing Research, Harvard University Press, Cambridge, MA (1984) .
- (8) 王珏、崔祺：定性推理，中国计算机用户，1989年8期22—26页。
- (9) 戴汝为：人工智能概述，中国计算机用户，1989年8期14—16页。
- (10) 尼科里斯、普利高津，《探索复杂性》，四川教育出版社，1986年。
- (11) 马克斯，经济学—哲学手稿，91—92页，人民出版社，1957年。