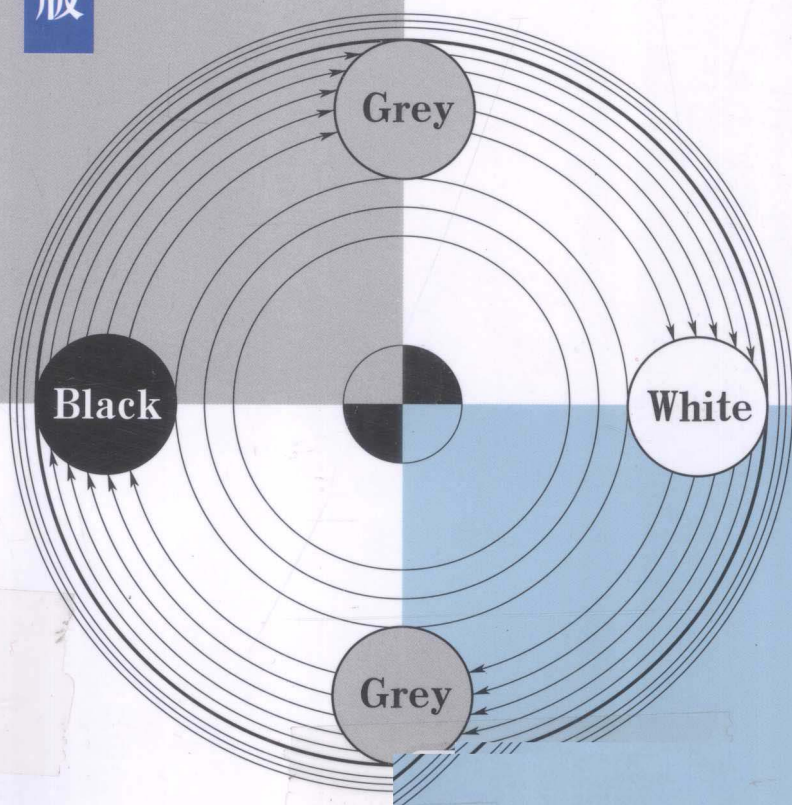


系统评估、预测、决策与优化研究论丛

灰色系统理论及其应用

第五版

刘思峰 党耀国 等 著
方志耕 谢乃明



科学出版社

www.sciencepress.com

系统评估、预测、决策与优化研究论丛

灰色系统理论及其应用

(第五版)

刘思峰 党耀国 等 著
方志耕 谢乃明

国家自然科学基金

国家社会科学基金重点项目

国家软科学基金重点项目

国家教育部高等学校博士学科点专项科研基金

江苏省高等学校优秀科技创新团队科研基金

南京航空航天大学研究生培养规划基金

南京航空航天大学科学发展研究中心重点工程

资助项目

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书全面、系统地论述了灰色系统的基本理论、基本方法和应用技术,是作者长期从事灰色系统理论探索、实际应用和教学工作的结晶,同时还吸收了国内外同行近年来取得的理论和应用研究新成果,向读者展示灰色系统理论这一新学科的概貌及其前沿发展动态。

全书共 16 章,包括灰色系统的概念与基本原理、灰色序列算子、灰色关联分析、灰色聚类评估、灰色预测模型、灰色组合模型、灰色决策模型、灰色规划、灰色投入产出、灰色博弈模型和灰色控制系统等内容,并附有灰色系统建模软件包。其中基于核和灰度的灰代数系统、缓冲算子、灰数测度公理、灰色绝对关联度、灰色相对关联度、灰色综合关联度、灰色相似关联度、灰色接近关联度、定权灰色聚类评估和基于三角白化权函数的灰评估新方法、离散灰色模型、多目标智能灰靶决策模型以及灰色经济计量学模型(G-E)、灰色生产函数模型(G-C-D)、灰色投入产出模型(G-I-O)、灰色马尔可夫模型(G-M)和灰色博弈模型(G-G)等系作者首次提出。

本书适合作高等学校理、工、农、医、天、地、生及经济、管理类各专业大学生和研究生的教材,亦可供科研机构、企事业单位和政府部门的科研人员、技术工作者、管理干部以及系统分析、市场预测、金融决策、资产评估、企业策划人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

灰色系统理论及其应用/刘思峰等著.—5版.—北京:科学出版社,2010.5
(系统评估、预测、决策与优化研究论丛)

ISBN 978-7-03-027392-5

I. 灰… II. ①刘… III. 灰色系统理论-高等学校-教材 IV. N941.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第078223号

责任编辑:林建房 阳/责任校对:郑金红
责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

深海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1991年2月第一版 开本:B5(720×1000)
1999年6月第二版 印张:27 1/2
2004年11月第三版 字数:554 000
2008年12月第四版 2010年5月第十一次印刷
2010年5月第五版 印数:23 501—26 500

定价:56.00元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者简介

刘思峰 男, 1955 年生于河南省平舆县, 1998 年于华中理工大学系统工程专业毕业, 获工学博士学位。曾赴美国宾夕法尼亚州州立 SR 大学国际系统科学研究所和澳大利亚悉尼大学高等教育研究中心任访问教授。1994 年在河南农业大学破格晋升为管理学教授。2000 年起任南京航空航天大学特聘教授、博士生导师、经济与管理学院院长、管理科学与工程一级学科(江苏省重点学科)博士点和博士后科研流动站首席学科带头人。

主要从事“灰色系统理论”和“系统评价、预测方法与模型”等领域的教学和研究工作。主持国家、省部级课题和国际合作项目 50 多项; 在国内外学术期刊上发表论文 200 余篇, 其中英文论文 80 余篇; 出版著作 16 部, 其中英文著作 3 部, 分别由美国 IIGSS 学术出版社、Taylor & Francis 出版集团和德国 Springer-Verlag 出版公司出版; 论文被 SCI、EI、ISTP 等国际重要文摘机构收录 140 多次, 论著被国内外学者引用超过 10000 次。获省部级以上科技成果奖 12 项、教学成果奖 9 项。其中, 省部级一等奖 3 项、二等奖 6 项、三等奖 5 项, 国家精品课程、国家精品教材各 1 项, 国家级规划教材 3 项。2002 年获系统与控制世界组织奖。

担任国家自然科学基金委员会第十二届专家评审组成员, 国家教育部管理科学与工程学科教学指导委员会委员, 江苏省管理学门类教学指导委员会副主任兼管理科学与工程学科教学指导委员会主任, IEEE 灰色系统委员会主席, IEEE SMC 北京分会副主席、南京分会副主席, 中国优选法统筹法与经济数学研究会副理事长兼灰色系统专业委员会主任, 中国管理科学与工程学会常务理事, 江苏省系统工程学会副理事长, 江苏省数量经济与管理科学学会副会长, 南京市人民政府决策咨询委员会委员等职务; 被聘为英国 Emerald 出版集团《灰色系统: 理论与应用》主编及美国《科学探索》、英国《灰色系统学报》、《中国管理科学》和中国台湾《灰色系统学刊》等 10 余种学术期刊编委和数十种重要期刊审稿人。

曾被评为“全国优秀教师”、“河南省优秀专家”、“江苏省优秀科技工作者”、“享受政府特殊津贴的专家”和“国家有突出贡献的中青年专家”等。2003 年被评为“全国留学回国先进个人”, 获“留学回国成就奖”。2005 年被评为“国防科技工业优秀博士学位获得者”, 2006 年被评为“江苏省高等学校教学名师”。是中央联系的高级专家。

党耀国 男，管理学博士。1964 年生于河南省驻马店市。现任南京航空航天大学经济与管理学院教授、博士生导师。兼任中国优选法统筹法与经济数学研究会理事兼灰色系统专业委员会副主任，中国农业系统工程青年研究会副主任，江苏省数量经济与管理科学学会理事，《灰色系统：理论与应用》国际期刊编委。主要从事灰色系统理论和数量经济学研究。主持和参加国家、省部级课题 20 余项，在国内外学术期刊发表论文 80 余篇，其中多篇论文被 SCI、EI、ISTP、INSPEC 等国际重要文摘机构收录。出版著作、教材 9 部，获省部级科技成果一等奖 1 项、二等奖 2 项、三等奖 2 项，厅级科技成果一等奖、二等奖各 2 项。2005 年被评为江苏省“青蓝工程”优秀青年骨干教师。

方志耕 男，管理学博士。1962 年生于安徽省池州市。现任南京航空航天大学经济与管理学院教授、博士生导师。兼任中国优选法统筹法与经济数学研究会理事兼灰色系统专业委员会副主任，江苏省数量经济与管理科学学会理事，《灰色系统：理论与应用》国际期刊编委。主要从事灰色系统理论和复杂系统等领域的研究工作。主持和参加国家、军队、省、市等部门科研课题 20 余项，在国内外学术期刊发表论文 60 多篇，其中多篇论文被 SCI、EI、ISTP、INSPEC 等国际重要文摘机构收录。出版著作、教材 6 部，其中英文著作 1 部，于 2009 年由美国 Taylor & Francis 出版集团出版。有 10 多项科研成果分别获得军队和地方政府的奖励。2001 年被评为“中国人民解放军总后勤部优秀教师”。

谢乃明 男，管理学博士。1981 年生于安徽省天长市，1998~2008 年就读于南京航空航天大学。现任南京航空航天大学经济与管理学院讲师，兼任中国优选法统筹法与经济数学研究会灰色系统专业委员会秘书长和《灰色系统：理论与应用》国际期刊主编助理。主要从事灰色系统理论和工业工程领域的研究工作。主持和参加国家、省部级科研课题近 10 项，在 *Applied Mathematical Modelling*、*Kybernetes*、《系统工程理论与实践》、《系统工程学报》、《控制与决策》等国内外重要学术期刊上发表论文 20 余篇，其中多篇被 SCI、EI、ISTP 等国际重要检索机构收录。2006 年被评为南京航空航天大学“十大科创之星”，2007 年获 IEEE 灰色系统与智能服务国际会议优秀论文一等奖，2008 年获“中国百篇最具影响的国内学术论文奖”。

前 言

本书(第五版)是应广大读者要求,在此前各中英文版本的基础上进行知识更新和理论扩展的新版本。根据近年来读者反馈的意见和建议,本书全面介绍了灰色系统理论的主体内容和最新研究成果,其中,关于不确定性系统的特征与科学的简单性原则、基于“核”和灰度的灰代数系统、系列新型实用缓冲算子、基于相似性和接近性视角的灰色关联度模型、基于中心点三角白化权函数的灰色评估模型和两类基于三角白化权函数的灰色评估模型比较、离散灰色模型、多变量离散灰色模型、优化离散灰色模型、灰色粗糙组合模型、多目标智能加权灰靶决策模型、基于有限理性和有限知识的双寡头战略定产博弈模型、局势顺推归纳博弈模型、产业集聚的灰色进化博弈链模型及其稳定性、灰色系统的鲁棒稳定性等都是本书作者近年来取得的新的研究成果。书中所附的灰色系统建模软件也是本书作者之一曾波基于C/S软件的主流开发工具 Visual C# 刚刚完成的最新版本,具有数据录入方便快捷、模块功能划分清晰、能够向用户展示运算过程和阶段性结果、用户可以根据需要调整计算结果的精度等优点,操作简便,易于应用,而且根据最新研究成果对系统功能模块进行了扩展。

在本书写作过程中,我们仍然坚持理论阐述简明扼要、深入浅出、通俗易懂;运用大量的实例说明灰色系统方法和模型技术,突出灰色系统思想方法的实际应用;同时注重数学基础的构筑、公理系统的建立和数学推证的严谨、精炼、准确;注意吸收课题组及国内外同行的最新研究成果,力求用较少的篇幅较为全面系统地向读者展示灰色系统理论这一新学科的概貌及其前沿发展动态。

本书由刘思峰提出总体写作方案并组织撰稿。第1~6章、第10章和11.7节由刘思峰执笔;第7、8章由谢乃明执笔;第9章由营利荣执笔;第11、12章由党耀国执笔;第13、14章由方志耕执笔;第15章由苏春华执笔;第16章及所附的计算机软件由曾波编写。全书由刘思峰统一审定。

本书出版得到了国家自然科学基金重大研究计划培育项目、面上项目、青年基金项目(90924022, 70473037, 70971064, 70701017, 70901041)、国家社会科学基金重点项目(08AJY024)、国家软科学基金重点项目(2008GXS5D115)、国家教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20020287001, 200802870020, 20093218120032)、江苏省高等学校优秀科技创新团队科研基金和南京航空航天大学特聘教授创新基金、研究生培养规划基金以及多项国家和江苏省博士后科研基金的资助,属于南京航空航天大学灰色系统研究所和科学发展研究中心重点工

程。灰色系统理论创始人邓聚龙教授、协同学创始人 Haken 教授、系统与控制世界组织主席 Vallée 教授、国际系统科学研究联合会主席顾基发教授、中国科学院院士陈达教授、中国科学院院士林群教授、中国工程院院士王众托教授、已故的原中国科学院系统科学研究所许国志院士都曾在百忙之中为本书写序，著名科学家钱学森教授专门发来贺信，许多领导、专家和灰色系统研究同仁对我们的工作给予鼎力支持，科学出版社有关领导和编辑更是通力合作，在此，作者一并表示衷心感谢！

限于作者水平，书中的缺点和不足在所难免，殷切期望有关专家和广大读者批评指正。

作者

2009年9月

目 录

总序

序一 (英文)

序一 (中译文)

序二

前言

第 1 章 灰色系统的概念与基本原理	1
1.1 灰色系统理论的产生与发展动态	1
1.2 灰色系统的概念与基本原理.....	11
1.3 灰数及其运算.....	15
1.4 灰数白化与灰度.....	22
1.5 灰数灰度的一种公理化定义.....	25
第 2 章 灰色方程与灰色矩阵	29
2.1 灰色代数方程与灰色微分方程.....	29
2.2 灰色矩阵及其运算.....	29
2.3 几种特殊的灰色矩阵.....	32
2.4 灰色矩阵的奇异性.....	33
2.5 灰色特征值与灰色特征向量.....	35
第 3 章 序列算子与灰色序列生成	37
3.1 引言.....	37
3.2 冲击扰动系统与序列算子.....	38
3.3 均值生成算子.....	50
3.4 序列的光滑性.....	51
3.5 级比生成算子.....	54
3.6 累加生成算子与累减生成算子.....	55
3.7 累加生成的灰指数律.....	58
第 4 章 灰色关联分析	62
4.1 灰色关联因素与关联算子集.....	63
4.2 距离空间.....	65
4.3 灰色关联公理与灰色关联度.....	68
4.4 广义灰色关联度.....	73

4.5	基于相似性和接近性视角的灰色关联度模型	85
4.6	关联序	89
4.7	优势分析	90
4.8	应用实例	96
第5章	灰色聚类评估	105
5.1	灰色关联聚类	105
5.2	灰色变权聚类	108
5.3	灰色定权聚类	113
5.4	基于三角白化权函数的灰色评估模型	118
5.5	灰色评估系数向量的熵	130
5.6	应用实例	133
第6章	GM(1,1)模型	146
6.1	GM(1,1)模型的基本形式	146
6.2	GM(1,1)模型的扩展形式	149
6.3	残差 GM(1,1)模型	157
6.4	GM(1,1)模型群	162
6.5	GM(1,1)模型的适用范围	166
第7章	GM(r,h)模型	169
7.1	GM(1,N)模型	169
7.2	GM(0,N)模型	172
7.3	GM(2,1)模型和 Verhulst 模型	173
7.4	GM(r,h)模型	179
第8章	离散灰色预测模型	182
8.1	离散灰色模型	182
8.2	离散灰色模型的拓展与优化	187
8.3	近似非齐次指数增长离散灰色模型	193
8.4	多变量离散灰色模型	195
第9章	灰色组合模型	198
9.1	灰色经济计量学模型	198
9.2	灰色线性回归组合模型	205
9.3	灰色生产函数模型	208
9.4	灰色人工神经网络模型	211
9.5	灰色马尔可夫模型	213
9.6	灰色粗糙组合模型	216

第 10 章 灰色系统预测	226
10.1 引言	226
10.2 数列预测	228
10.3 区间预测	230
10.4 灰色灾变预测	236
10.5 波形预测	242
10.6 系统预测	247
第 11 章 灰色决策模型	251
11.1 灰色决策基本概念	251
11.2 灰靶决策	253
11.3 灰色关联决策	256
11.4 灰色发展决策	265
11.5 灰色聚类决策	268
11.6 单目标化局势决策	271
11.7 多目标智能加权灰靶决策模型	275
第 12 章 灰色规划	279
12.1 灰参数线性规划	280
12.2 灰色预测型线性规划	282
12.3 灰色漂移型线性规划	285
12.4 灰色 0-1 规划	294
12.5 灰色多目标规划	299
12.6 灰色非线性规划	301
12.7 灰色动态规划	307
第 13 章 灰色投入产出	316
13.1 灰色投入产出的基本概念	316
13.2 灰色感应度系数与影响力系数	318
13.3 灰色投入产出优化模型	321
13.4 灰色动态投入产出模型	322
13.5 应用实例	325
第 14 章 灰色博弈模型	329
14.1 基于有限理性和有限知识的双寡头战略定产博弈模型	329
14.2 一种新的局势顺推归纳法模型	343
14.3 产业集聚的灰色进化博弈链模型及其稳定性	349
第 15 章 灰色控制系统	355
15.1 灰色系统的可控性和可观测性	356

15.2	灰色系统的传递函数.....	359
15.3	灰色系统的鲁棒稳定性.....	364
15.4	几种典型的灰色控制.....	372
第 16 章	灰色系统建模软件简介	381
16.1	软件的主要特点.....	382
16.2	软件的模块构成.....	383
16.3	软件应用与操作指南.....	383
参考文献	395
名词术语中英文对照	411

第 1 章 灰色系统的概念与基本原理

1.1 灰色系统理论的产生与发展动态

1.1.1 灰色系统理论产生的科学背景

现代科学技术在高度分化的基础上高度综合的大趋势,导致了具有方法论意义的系统科学学科群的出现。系统科学揭示了事物之间更为深刻、更具本质性的内在联系,大大促进了科学技术的整体化进程,许多科学领域中长期难以解决的复杂问题随着系统科学新学科的出现迎刃而解,人们对自然界和客观事物演化规律的认识也由于系统科学新学科的出现而逐步深化。20 世纪 40 年代末期诞生的系统论、信息论、控制论,产生于 60 年代末、70 年代初的耗散结构理论、协同学、突变论、分形理论以及 70 年代中后期相继出现的超循环理论、动力系统理论、泛系理论等都是具有横向性、交叉性的系统科学新学科。

在系统研究中,由于内外扰动的存在和认识水平的局限,人们得到的信息往往带有某种不确定性。随着科学技术的发展和人类社会的进步,人们对各类系统不确定性的认识逐步深化,对不确定性系统的研究也日益深入。20 世纪后半叶,在系统科学和系统工程领域,各种不确定性系统理论和方法的不断涌现形成一大景观,如扎德(Zadeh)于 60 年代创立的模糊数学、邓聚龙于 80 年代创立的灰色系统理论、帕夫拉克(Pawlak)于 80 年代创立的粗糙集理论(rough sets theory)和王光远于 90 年代创立的未确知数学等,都是不确定性系统研究的重要成果。这些成果从不同角度、不同侧面论述了描述和处理各类不确定性信息的理论和方法。

中国学者邓聚龙在 1982 年创立的灰色系统理论,是一种研究少数据、贫信息不确定性问题的新方法。灰色系统理论以“部分信息已知、部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统为研究对象,主要通过“部分”已知信息的生成、开发,提取有价值的信息,实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控。现实世界中,“小样本”、“贫信息”不确定性系统的普遍存在决定了灰色系统理论具有十分广泛的应用领域。

1.1.2 灰色系统理论的产生与发展动态

1982 年,北荷兰出版公司出版的《系统与控制通讯》(*Systems & Control Letters*)杂志刊载了我国学者邓聚龙的第一篇灰色系统论文“灰色系统的控制问题”(The control problems of grey systems);同年,《华中工学院学报》刊载了邓聚龙

的第一篇中文灰色系统论文“灰色控制系统”。这两篇开创性论文的公开发表,标志着灰色系统理论这一新兴横断学科经过其创始人邓聚龙多年卓有成效的努力,开始问世。这个新理论刚一诞生就受到了国内外学术界和广大实际工作者的积极关注,不少著名学者和专家给予了充分肯定和大力支持,许多中青年学者纷纷加入灰色系统理论研究行列,以极大的热情开展理论探索及在不同领域中的应用研究工作。尤其是它在众多科学领域中的成功应用,赢得了国际学术界的肯定和关注。目前,美国、英国、德国、日本、澳大利亚、加拿大、奥地利、俄罗斯、土耳其、荷兰、伊朗等国及我国港澳台地区等已有许多知名学者从事灰色系统的研究和应用。1989年在英国创办的英文版国际学术刊物《灰色系统学报》(*The Journal of Grey System*)已成为《英国科学文摘》(SA)、《美国数学评论》(MR)和《科学引文索引》(SCI)等重要国际文摘机构的核心期刊;1997年在台湾创办的中文版学术刊物《灰色系统学刊》于2004年改为英文版,刊名为*Journal of Grey System*。2010年2月9日,英国著名期刊出版集团 Emerald 董事会通过决议,支持南京航空航天大学灰色系统研究所创办新的国际期刊*Grey Systems: Theory and Applications*,聘请刘思峰教授担任该刊创刊主编。全世界有数千种学术期刊接受、刊登灰色系统论文,美国计算机学会会刊、台湾《模糊数学通讯》、系统与控制国际杂志*Kybernetes* (SCI源期刊)出版了灰色系统专辑。

国内外许多著名大学都开设了灰色系统理论课程。在南京航空航天大学,不仅硕士和博士研究生开设了灰色系统理论课程,灰色系统理论还作为全校各专业的公共选修课受到同学们的欢迎。华中科技大学、南京航空航天大学、武汉理工大学、福州大学和中国台湾的多所大学招收、培养灰色系统专业方向的博士研究生,世界各国高等学校共计有上万名硕士、博士研究生运用灰色系统的思想方法开展科学研究,撰写学位论文。

国内外许多出版机构,如科学出版社、国防工业出版社、华中科技大学出版社、江苏科学技术出版社、山东人民出版社、科学技术文献出版社、台湾全华科技图书出版社、台湾高立图书有限公司、日本理工出版社、美国 IIGSS 学术出版社和 Taylor & Francis 出版集团、德国 Springer-Verlag 出版公司……出版灰色系统学术著作 100 余种。一批新兴边缘学科,如灰色水文学、灰色地质学、灰色育种学、灰色医学、区域经济灰色系统分析……应运而生。国家及各省、市科学基金积极资助灰色系统研究,每年都有一大批灰色系统理论或应用研究项目获得各类基金资助。据统计,全国各地有 200 多项灰色系统成果获得国家或省部级奖励。2002 年,我国灰色系统学者获系统与控制世界组织奖。

据不完全统计,SCI, EI, ISTP, SA, MR, MA 等国际权威性检索机构收录我国学者的灰色系统论著超过 10000 次。据中国科学引文数据库(CSCD)发布的信息(《中国科学时报》,1997 年 11 月 26 日),华中科技大学邓聚龙的灰色系统理论被

引用次数连续多年居全国第一。

1993年,中华人民共和国科学技术部编撰出版的《中国科学技术蓝皮书(第8号)》把灰色系统理论作为中国学者创立的软科学新方法加以肯定。2008年,中国科学技术协会组织编撰的《学科发展研究系列报告(2007~2008)》把灰色系统理论作为我国管理科学与工程学科的创新性成果之一重点介绍。

2006年,灰色系统理论及应用学术会议得到中国高等科学技术中心(李政道任中心主任,周光召、路甬祥任副主任)资助在北京成功召开。2008年,第16届全国灰色系统学术会议再次得到中国高等科学技术中心资助。

许多重要国际会议,如不确定性系统建模国际会议、系统预测控制国际会议、国际一般系统研究会年会、系统与控制世界组织年会、IEEE系统、人与控制国际会议、计算机与工业工程国际会议……把灰色系统理论列为讨论专题。例如,2002年3月在美国匹兹堡召开的系统与控制世界组织(WOSC)12届年会和国际一般系统研究会(IIGSS)4届年会联合大会共为灰色系统理论安排了6场专题会议;2003年8月在爱尔兰默瑞克召开的第32届计算机与工业工程国际会议为灰色系统理论安排了4场专题会议;2004年10月在荷兰海牙召开的IEEE系统、人与控制国际会议,2005年3月在美国亚利桑那召开的IEEE网络、感知、控制国际会议,2005年7月在斯洛文尼亚马里波尔召开的系统与控制世界组织第13届年会,2005年10月在美国夏威夷召开的IEEE系统、人与控制国际会议,2006年10月在中国台湾召开的IEEE系统、人与控制国际会议,2007年10月在加拿大蒙特利尔召开的IEEE系统、人与控制国际会议,2008年9月在波兰弗罗茨瓦夫召开的系统与控制世界组织第14届年会,2008年10月在新加坡召开的IEEE系统、人与控制国际会议和2009年10月在美国圣·安东尼奥召开的IEEE系统、人与控制国际会议等都安排了灰色系统专题会议。灰色系统理论成为许多重要国际会议关注、讨论的热点,对于世界系统科学界同行进一步了解灰色系统理论无疑会起到积极作用。

2007年11月18~20日,首届IEEE灰色系统与智能服务国际会议(2007 IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services, IEEE GSIS)在南京隆重召开,出席这次会议的有来自世界及全国各地的学者近300人。这次会议经IEEE总部批准并主办,由中国国家自然科学基金委员会、南京航空航天大学、中国(双法)灰色系统专业委员会协办,并由南京航空航天大学经济与管理学院和灰色系统研究所具体承办。中国优选法统筹法与经济数学研究会副理事长兼灰色系统专业委员会主任、南京航空航天大学经济与管理学院院长兼灰色系统研究所所长刘思峰担任本届大会主席。这次会议共收到来自中国、美国、英国、日本、南非、俄罗斯、土耳其、马来西亚、伊朗、中国台湾、中国香港等17个国家和地区的学者的投稿1019篇,根据大会预定规模和专家审稿意见,最后录用论文332篇。

根据与会代表的提议,大会国际程序委员会和组织委员会联席会议决定授予邓聚龙灰色系统理论创始人奖,授予南京航空航天大学经济与管理学院大会组织突出贡献奖。这次会议共评出大会优秀论文 5 篇,其中,一等奖 1 篇、二等奖 2 篇、三等奖 2 篇,南京航空航天大学灰色系统研究所博士研究生谢乃明荣获一等奖。大会名誉主席、美国工程院院士、IEEE 原执行主席 James Tien 为邓聚龙颁发了证书,国际服务科学研究会创始主席 Robin Qiu 为南京航空航天大学经济与管理学院颁发了证书,灰色系统理论创始人邓聚龙为论文获奖者颁发了证书。

与会代表普遍认为,这次会议内容丰富、组织有序,大会报告和专题报告水平高,展示了灰色系统理论和服务科学的最新研究进展和应用成果,对于促进国际合作交流,推动中国及世界各国在灰色系统理论和服务科学领域的学术研究具有重大意义。根据会议决议,IEEE 灰色系统与智能服务国际会议以后每两年举办一次,来自美国、英国、中国台湾、土耳其、南非和日本的学者都明确表示希望有机会承办 IEEE GSIS。

2008 年初,IEEE 灰色系统委员会正式成立。依托 IEEE 这样一个全球性的学术平台,灰色系统理论将会被国内外更多的学者所认识。

2009 年 11 月 10 日~12 日,第二届 IEEE 灰色系统与智能服务国际会议再次在南京召开。这次会议共收到来自中国、美国、英国、荷兰、罗马尼亚、乌克兰、马来西亚、波兰、加拿大、中国台湾、中国香港等 16 个国家和地区学者的投稿 1054 篇,最后决定录用论文 351 篇。会议决定,第三届 IEEE 灰色系统与智能服务国际会议将于 2011 年 9 月 15 日~18 日与系统与amp;控制世界组织第十五届年会联合召开,仍由南京航空航天大学承办。

目前,第一届和第二届 IEEE 灰色系统与智能服务国际会议录用的论文已全部被 EI Compendex 收录。

1.1.3 不确定性系统的特征与科学的简单性原则

信息不完全、不准确是不确定性系统的基本特征。系统演化的动态特性、人类认识能力的局限性和经济、技术条件的制约,导致不确定性系统的普遍存在。

1. 信息不完全

信息不完全是不确定性系统的基本特征之一。信息不完全是绝对的,信息完全则是相对的。人们以其有限的认识能力观测无限的时空,不可能得到所谓的“完全信息”。概率统计中的“大样本”实际上表达了人们对不完全的容忍程度。通常情况下,样本量超过 30 即可被视为“大样本”,但有时候即使收集到数千甚至几万个样本也未必能找到潜在的统计规律。

2. 数据不准确

不确定性系统的另外一个基本特征是数据不准确。不准确与不精确的涵义基本相同,表达的都是与实际数值存在误差或偏差。从不准确产生的本质来划分,又可以分为概念型、层次型和预测型三类。

(1) 概念型。概念型不准确源于人们对某种事物、观念或意愿的表达,如人们通常所说的“大”、“小”、“多”、“少”、“高”、“低”、“胖”、“瘦”、“好”、“差”以及“年轻”、“漂亮”、“一堆”、“一片”、“一群”等,都是没有明确标准的不准确概念,难以用准确的数据表达。又如,一位获得了 MBA 学位的求职者,希望年薪不低于 15 万元;某工厂希望废品率不超过 0.1%,表达的都是不精确意愿。

(2) 层次型。由研究或观测的层次改变形成的数据不准确。有的数据从系统的高层次,即宏观层次、整体层次或认识的概括层次上看是准确的,而到更低的层次上,即到系统的微观层次、分部层次或认识的深化层次就不准确了。例如,一个人的身高,以厘米或毫米为单位度量可以得到准确的结果,若要求精确到 10^{-10} 米则很难准确度量。

(3) 预测型(估计型)。由于难以完全把握系统的演化规律,人们对未来的预测往往不准确。例如,预计 2010 年某地区国内生产总值将超过 100 亿元人民币;估计 2010 年年末某储蓄所居民储蓄存款余额可能为 7000 万~9000 万元人民币;预计未来几年内南京地区 10 月份最高气温不超过 30°C 等。这些都是预测型不确定数。统计学中通常采用抽样调查数据对总体进行估计,因此,很多统计数据都是不准确的。事实上,无论采取什么样的办法,人们也很难获得绝对准确的预测(估计)结果。定计划、作决策往往要参考不完全准确的预测(估计)数据。

3. 科学的简单性原则

在科学发展史上,简单性几乎是所有科学家的共同信仰。早在公元前 6 世纪,自然哲学家们在认识物质世界方面就有一个共同的愿望:把物质世界归结为几个共同的简单元素。古希腊的数学家和哲学家毕达哥拉斯(Pythagoras)在公元前 500 年前后提出四元素(土、水、火、气)学说,认为物质是由简单的四元素构成。我国古代也有五行说,认为万事万物的根本是五样东西,即水、火、木、金、土。这是科学史上最朴素、最原始的简单性思想。

科学的简单性原则源于人类在认识自然过程中的简单性思想,随着自然科学的不断成熟,简单性成为人类认识世界的基础,也是科学研究的指导原则。《周易·系辞上》说:“易则易知,简则易从,易知则有亲,易从则有功。”

牛顿的力学定律以简单的形式统一了宏观的运动现象。在《自然哲学的数学原理》中,牛顿指出:“自然界不做无用之事,只要少做一点就成了,多做了却是无

用;因为自然喜欢简单化,而不爱用什么多余的原因以夸耀自己。”在相对论时代,爱因斯坦提出了检验理论的两个标准:“外部的证实”和“内在的完备”,即“逻辑简单性”。他认为,从科学理论反映自然界的和谐与秩序的角度看,真的科学理论一定是符合简单性原则的。

19世纪70年代,安培、韦伯、莱曼、格拉斯曼和麦克斯韦等从不同的假设出发,相继建立了解释电磁现象的理论。由于麦克斯韦的理论最符合简单性原则,因此广为流传。又如,著名的开普勒行星运动第三定律 $T^2 = D^3$,形式上也十分简洁。

按照协同学的支配原理,可以通过消去描述系统演化进程的高维非线性微分方程中的快弛豫变量,将原来的高维方程转化为低维的序参量演化方程。由于序参量支配着系统在临界点附近的动力学特性,通过求解序参量演化方程,即可得到系统的时间结构、空间结构或时空结构,进而实现对系统运行行为的有效控制。

科学模型的简单性主要依赖于模型表征形式的简洁和对系统次要因素的删减来实现。在经济学领域,用基尼系数描述居民收入差距的方法和运用 Cobb-Douglas 生产函数测度技术进步在经济增长中贡献份额的方法,都是基于对实际系统的简化而提出来的。莫迪里亚尼 (Modigliani) 用来描述平均消费倾向 (average propensity to consume, APC) 的模型

$$\frac{C_t}{y_t} = a + b \frac{y_0}{y_t}, \quad a > 0, b > 0$$

菲利普斯 (Phillips) 用来描述通货膨胀率 $\frac{\Delta p}{p}$ 与失业率 x 之间关系的曲线

$$\frac{\Delta p}{p} = a + b \frac{1}{x}$$

以及著名的资本性资产评价模型 (capital asset pricing model, CAPM)

$$E[r_i] = r_f + \beta_i (E[r_m] - r_f)$$

实质上稍作变换都可以化为最简单的一元线性回归模型。

4. 精细化模型遭遇不精确

在信息不完全、数据不准确的情况下追求精细化模型的道路走不通。对此,在两千多年前老子就有十分精辟的论述:“夷、希、微不可致诘。”模糊数学创始人扎德 (Zadeh) 的互克性原理对此也有明确表述:“当系统的复杂性日益增长时,我们作出系统特性的精确而有意义的描述能力将相应降低,直至达到这样一个阈值,一旦超过它,精确性与有意义性将变成两个互相排斥的特性。”互克性原理揭示了片面追求精细化将导致认识结果的可行性和有意义性的降低,精细化模型不是处理复杂事物的有效手段。

1994年,岳建平和华锡生采用某大型水利枢纽工程大坝变形、渗流数据,分别