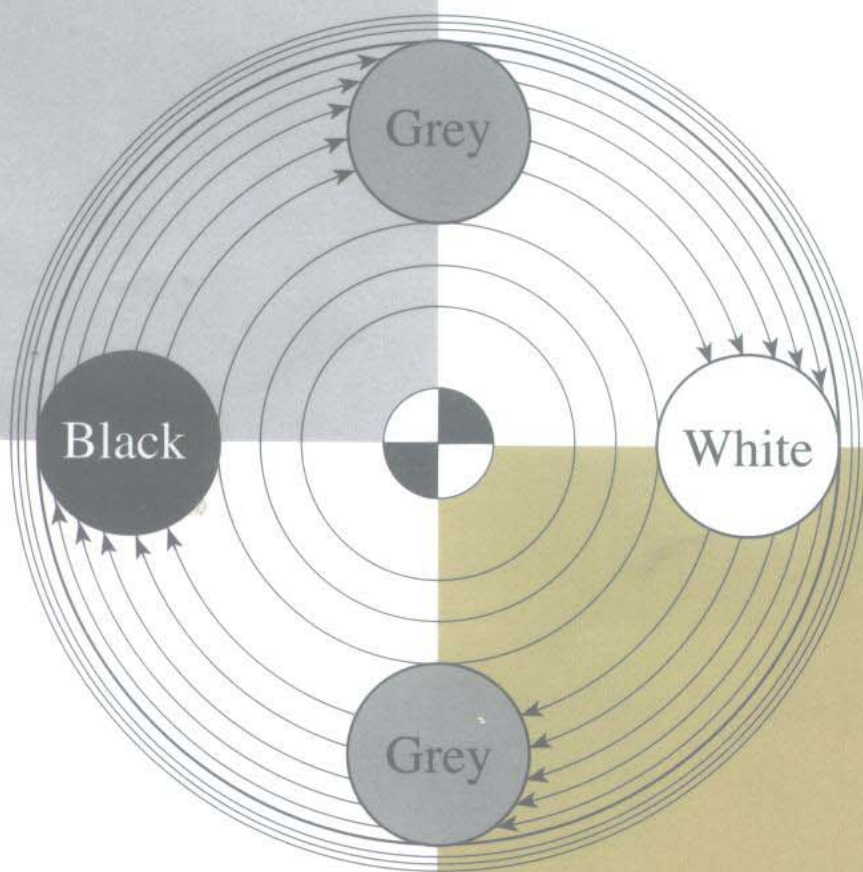


灰色系统理论及其应用

第二版

刘思峰 郭天榜 党耀国 等 著



科学出版社

N94

L72

(2)

灰色系统理论及其应用

第 二 版

刘思峰 郭天榜 党耀国 等 著

国家自然科学基金、河南省杰出青年科学基金
河南省软科学基金、河南农业大学 251 人才基金 资助项目

科 学 出 版 社

1 9 9 9

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了灰色系统的基本理论、基本方法和应用技术,是作者多年从事灰色系统理论研究、应用和教学工作的结晶,同时又融入了国内外同行近年来在灰色系统理论探索及应用开拓中取得的新成果,精辟地向读者展示了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 12 章,包括灰色系统的基本概念和基本原理,灰色方程与灰色矩阵,序列算子与灰色序列生成,灰色关联分析,灰色聚类评估,灰色系统建模,灰色预测,灰色组合模型,灰色决策,灰色规划,灰色投入产出及动态优化和灰色控制等内容。其中序列算子,缓冲算子公理系统,灰数及其信息含量测度,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,LPGP 漂移及定位求解,GM(1, 1)模型的适用范围,灰色绝对关联度,灰色相对关联度,灰色综合关联度,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)和灰色马尔可夫模型(G-M)等系作者首次提出。

本书适宜于用作高等学校理、工、农、医、天、地、生及经济、管理类各专业大学生和研究生教材,亦可供政府部门、科研机构及企事业单位的科技、管理、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. -2 版. -北京:科学出版社,1999
ISBN 7-03-007617-6

I. 灰… II. 刘… III. 灰色系统理论 IV. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 20303 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

丽源印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1991 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1999 年 10 月第 二 版 印张:17 1/4

1999 年 10 月第二次印刷 字数:400 000

印数:3 001—7 000

定价:22.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欢〉)

第二版序

系统科学学科群的产生和迅速发展已成为当代科学发展的一大景观. 本世纪 40 年代以来, 相继出现了系统论、信息论、控制论、耗散结构理论、协同学、突变论、分形理论、超循环理论、动力系统理论等一大批系统科学新兴学科. 灰色系统理论是 80 年代初期由我国学者邓聚龙教授创立的一门系统科学新学科.

由于众所周知的原因, 我国大规模的系统科学研究、应用比西方国家滞后了 20 多年. 西方的系统运动兴起于 50 年代中期, 我国的系统科学研究热潮则出现于 70 年代中后期. 当时, 在钱学森、宋健等同志的大力倡导下, 一批在数学、工程、经济等领域有影响的专家率先转入系统科学研究领域, 中国科学院及有关部委组建了系统科学或系统工程研究所, 不少高校设置了系统工程或管理工程专业, 建立了研究机构, 并开始招收、培养系统工程、管理工程专业的本科生、硕士生和博士生. 1980 年, 成立了中国系统工程学会. 系统科学研究和系统工程方法、技术应用于我国各级管理决策及各个科学领域, 取得了一大批重要成果. 这一切, 为系统科学新学科在我国产生提供了适宜的土壤和条件, 灰色系统理论正是在这样一种社会大环境下产生并得到迅速发展的.

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, 主要通过对“部分”已知信息的生成、开发, 提取有价值的信息, 实现对系统运行规律的正确描述和有效控制. 目前, 这一日趋成熟的新理论已赢得了国际、国内学术界的肯定和关注.

刘思峰同志从 80 年代中期开始从事灰色系统理论研究、应用和教学工作, 他和课题组的同志们在新的科学园地中大胆探索, 勤奋开拓, 不仅在理论、方法上有一定创新和建树, 同时将灰色系统理论等系统工程方法应用于区域科技, 经济系统分析和预测、决策、规划、战略研究实践, 亦取得可喜的成绩. 他与国内外同行合作完成的《灰色系统理论及其应用》(河南大学出版社, 1991)、《区域经济评估·预警·调控》(河南人民出版社, 1994)、《中观经济管理——理论·模型·应用》(华中理工大学出版社, 1997) 和 “An Introduction to Grey Systems: Foundations, Methodology and Applications” (美国 IIGSS 学术出版社, 1998) 等著作, 都反映出融理论探索和应用开拓于一体的鲜明特色.

《灰色系统理论及其应用》(第二版) 系统地介绍了灰色系统的基本理论、基本方法和应用技术, 吸收了国内外同行的新成果, 较为全面地向读者展示了灰色系统理论这一新学科的概貌及其前沿发展动态. 书中灰色序列算子、缓冲算子公理系统、灰数及其信息含量测度公式、灰色绝对关联度、灰色相对关联度、灰色综合关联度、定权灰色聚类评估和基于三角白化权函数的灰色评估新方法、LPGP 漂移及定位求解、GM(1, 1) 模型的适用范围、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) 和灰色马尔可夫模型(G-M) 等系作者首次提出.

我们有机会阅读了该书的初稿,由衷地为我国青年学者所取得的成绩而欣慰.相信这本既有学术价值,又有实用价值的著作出版,定会为推动灰色系统理论和系统工程研究的深入发展,促进我国管理决策的科学化做出积极贡献.

中国工程院院士 许国志
中国系统工程学会理事长 顾基发

1999年3月30日

第一版序

刘思峰和郭天榜同志撰写的《灰色系统理论及其应用》一书是一本立足于实际,着眼于开拓,既阐述理论,又兼顾应用的综合性著作,具有广泛的参考价值.本书将“河南省工业系统技术改造研究”、“河南省粮食生产决策支持系统”,以及为“科技兴豫”所进行的决策支持研究等成果融汇贯通、升华发展,在运用灰色系统的理论、方法、观点、概念,支持决策、咨询实际等方面均具特色.书中有关序列算子等数学思路与方法,属作者独创.

这样一本有理论、有实际,有研究、有应用,有背景、有升华,有继承、有开拓的著作,将为灰色系统理论的发展与软科学的实用化做出贡献.

华中理工大学教授
灰色系统英文杂志主编
邓聚龙

1990年1月15日

前 言

灰色系统理论是我国著名学者邓聚龙教授 1982 年创立的一门新兴横断学科,它以“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,主要通过对“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的正确认识和有效控制。贫信息不确定性系统的普遍存在,决定了这一新理论具有十分广阔的发展前景。

短短十几年,灰色系统理论不仅在理论上迅速发展,日臻完善,而且在社会、经济、科技、农业、工业、生态、气象、石油、地质、水文、水利、医药、卫生、证券、金融、法律、军事等系统的分析、建模、预测、决策、规划、控制中得到日益广泛和深入的应用,取得了一系列重大成果,赢得了国际、国内学术界的肯定和关注,确立了其作为一门新兴横断学科的学术地位。

本书的前身是作者为河南农业大学农业工程系研究生和部分教师开设灰色系统理论课程的讲稿。1990 年,作者得到河南大学出版社副总编孙荣光教授和程庆编审的热情鼓励和支持,在原讲稿的基础上进行修改,写成了《灰色系统理论及其应用》一书,并于 1991 年由河南大学出版社出版。该书问世后,受到广大读者肯定,被十多所高校采用为教材,国内外学者在其论著中频频引用。书中一些新的思想、方法和模型技术在各个领域的科研、生产和管理实践中得到广泛应用。1998 年获河南省科技进步奖二等奖。《中国科学技术蓝皮书(第 8 号)》曾给予肯定。以此为基础完成的英文著作于 1998 年由美国 IIGSS 学术出版社出版。

本书在第一版的基础上做了全面改写,融入了作者和国内外同行近年来在灰色系统理论探索及应用开拓中取得的新成果,较系统地向读者展示了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 12 章,包括灰色系统的基本概念与基本原理、灰色方程与灰色矩阵、序列算子与灰色序列生成、灰色关联分析、灰色聚类评估、灰色系统建模、灰色预测、灰色组合模型、灰色决策、灰色规划、灰色投入产出及动态优化和灰色控制等内容。

本书由刘思峰提出总体写作方案并组织撰稿,郭天榜、党耀国、李炳军、侯云先参加了总体方案的讨论。其中第一章、第二章由刘思峰执笔;第三章由郭天榜、刘思峰执笔;第四章由李炳军、赵德英、刘思峰执笔;第五章由党耀国执笔;第六章由党耀国、郭天榜执笔;第七章由王广宇、党耀国执笔;第八章由李炳军执笔;第九章由侯云先执笔,第十章由侯云先、刘思峰执笔;第十一章由杨岭、侯云先执笔;第十二章由李秀丽、李炳军执笔,全书由刘思峰统一定稿。限于篇幅,杨岭、王广宇、李秀丽分别用 C 语言和 BASIC 语言为本书编写的计算机软件未能收入。

必须说明的是,除上面列出的执笔人之外,朱永达、郭洪、林益等许多同志曾先后参加相关课题研究和部分章节的讨论、写作工作,为本书的形成做出了积极贡献。

多年来,我们的研究工作一直受到学术界前辈和有关领导的热情鼓励、指导和支持。

得到众多同行专家的通力合作. 全国灰色系统研究会理事长邓聚龙教授和中国系统工程学会名誉理事长许国志院士、理事长顾基发教授在百忙之中为本书作序. 河南农业大学管理科学与工程专业研究生董奋义、应继来不辞劳苦, 日以继夜, 出色地完成了全部书稿的录入工作. 在此, 作者一并向他们表示衷心感谢!

限于水平, 书中不当之处, 在所难免, 恳请读者诸君批评指正.

刘思峰

1999年2月28日

目 录

第二版序

第一版序

前 言

第一章 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	4
1.3 灰数及其运算	7
1.4 灰数白化与灰度.....	10
1.5 灰数测度的公理及若干定理.....	12
1.6 灰数的信息含量测度.....	15
第二章 灰色方程与灰色矩阵	19
2.1 灰色代数方程与灰色微分方程.....	19
2.2 灰色矩阵及其运算.....	19
2.3 几种特殊的灰色矩阵.....	21
2.4 灰色矩阵的奇异性.....	22
2.5 灰色特征值与灰色特征向量.....	24
第三章 序列算子与灰色序列生成	26
3.1 序列算子.....	26
3.2 均值生成.....	30
3.3 序列的光滑性.....	32
3.4 级比与光滑比.....	33
3.5 累加生成算子与累减生成算子.....	34
3.6 累加生成的灰指数律.....	37
第四章 灰色关联分析	40
4.1 灰色关联因素和关联算子集.....	41
4.2 距离空间.....	43
4.3 灰色关联公理与灰色关联度.....	44
4.4 广义灰色关联度.....	49
4.5 其它几种灰色关联度.....	60
4.6 关联序.....	63
4.7 优势分析.....	64
4.8 应用实例.....	70
第五章 灰色聚类评估	78
5.1 灰色关联聚类.....	78

5.2	灰色变权聚类·····	80
5.3	灰色定权聚类·····	85
5.4	基于三角白化权函数的灰色评估·····	89
5.5	灰色评估系数向量的熵·····	90
5.6	应用实例·····	92
第六章	灰色系统建模·····	102
6.1	五步建模思想·····	102
6.2	灰色微分方程·····	103
6.3	GM(1,1)模型·····	105
6.4	残差 GM(1,1)模型·····	113
6.5	GM(1,1)模型群·····	117
6.6	GM(1,1)模型的适用范围·····	119
6.7	GM(1,N)和 GM(0,N)模型·····	123
6.8	GM(2,1)和 Verhulst 模型·····	126
第七章	灰色预测·····	134
7.1	灰色预测模型的检验·····	134
7.2	数列预测·····	135
7.3	区间预测·····	137
7.4	灰色灾变预测·····	144
7.5	波形预测·····	150
7.6	系统预测·····	154
第八章	灰色组合模型·····	156
8.1	灰色经济计量学模型·····	156
8.2	灰色生产函数模型·····	161
8.3	灰色马尔可夫模型·····	163
8.4	灰色时序组合模型·····	166
8.5	组合预测·····	168
第九章	灰色决策·····	174
9.1	灰色决策基本概念·····	174
9.2	灰靶决策·····	175
9.3	灰色关联决策·····	179
9.4	灰色发展决策·····	184
9.5	灰色聚类决策·····	186
9.6	单目标化局势决策·····	189
第十章	灰色规划·····	195
10.1	灰参数线性规划·····	196
10.2	灰色预测型线性规划·····	198
10.3	灰色漂移型线性规划·····	200
10.4	灰色线性规划的准优解·····	206

10.5	灰色 0-1 规划	209
10.6	灰色多目标规划	213
10.7	灰色非线性规划	215
10.8	应用实例	220
第十一章	灰色投入产出	229
11.1	灰色投入产出的基本概念	229
11.2	灰色非负矩阵的 P-F 定理	230
11.3	灰色感应度系数与影响力系数	234
11.4	灰色投入产出优化模型	237
11.5	灰色动态投入产出模型	240
11.6	应用实例	242
第十二章	灰色控制	246
12.1	控制与灰色控制	246
12.2	灰色线性控制系统	247
12.3	灰色传递函数与典型环节	248
12.4	灰色传递函数矩阵	251
12.5	几种典型的灰色控制	252
12.6	应用实例	255
参考文献		259
中英文索引		267

第一章 灰色系统的概念与基本原理

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横断学科群的出现.横断学科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新兴横断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横断学科的出现而逐步深化.本世纪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、交叉性的新兴学科.1982年,我国著名学者邓聚龙教授创立的灰色系统理论,则是横断学科群中升起的又一颗光彩夺目的新星.与研究“随机不确定性”的概率统计和研究“认知不确定性”的模糊数学不同,灰色系统理论的研究对象是“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.它通过对“部分”已知信息的生成、开发去了解、认识现实世界,实现对系统运行行为和演化规律的正确把握和描述.灰色系统模型对试验观测数据及其分布没有什么特殊的要求和限制,作为一种十分简便、易学好用的新理论,灰色系统理论具有十分广泛的应用领域,并深受各领域研究人员和实际工作者的喜爱.本章介绍灰色系统理论的产生与发展动态以及灰色系统的基本概念和基本原理,既是最具基础性的内容,又可视作全书的导言.

1.1 灰色系统理论的产生与发展动态

一、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“Systems & Control Letters”(系统与控制通讯)期刊上发表了我国学者邓聚龙教授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),1982年《华中工学院学报》第三期上发表了邓聚龙教授的第一篇中文灰色系统论文“灰色控制系统”,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教授多年卓有成效的努力,开始问世.这一新理论刚一诞生,就受到国内外学术界和广大实际工作者的极大关注,不少著名学者和专家给予充分肯定和支持,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.目前,英国、美国、德国、日本、澳大利亚、加拿大、奥地利、俄罗斯、台湾、香港、联合国等国家、地区及国际组织有许多知名学者从事灰色系统的研究和应用;海内外84所高校开设了灰色系统课程,数百名博士、硕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;国际、国内200多种学术期刊发表灰色系统论文,许多国际会议把灰色系统列为讨论专题.据不完全统计,近年来,SCI(科学引文索引)、EI(工程索引)、ISTP(科技会议索引)以及SA(英国科学文摘)、MR(美国数学评论)、MA(德国数学文摘)等国际权威性检索杂志跟踪、检索我国学者的灰色系统论著500多次(其中邓聚龙

教授的论著被检索、摘录 100 多次)。1997 年,中国建立了自己的科学引文数据库(CSCD),据 1997 年 11 月 26 日《中国科学报》报道:“华中理工大学邓聚龙先生的灰色系统理论被引用 533 次,居全国第一”。灰色系统理论的应用范围已拓展到工业、农业、社会、经济、能源、交通、地理、地质、石油、地震、气象、水利、环境、生态、医学、体育、教育、军事、法学、金融等众多科学领域,成功地解决了生产、生活和科学研究中的大量实际问题,我国科技工作者主持的一大批灰色系统理论研究课题获得了国家和省、市科学基金资助,已有 200 多项灰色系统理论及应用成果获得国家和省、部级奖励。

1985 年,国防工业出版社出版了邓聚龙教授的第一部灰色系统专著《灰色系统(社会·经济)》。1985 年至 1992 年,华中理工大学出版社先后出版发行了邓聚龙教授有关灰色系统的六部著作:《灰色控制系统》、《灰色预测与决策》、《灰色系统基本方法》、《多维灰色规划》、《灰色系统理论教程》和《灰数学引论——灰色朦胧集》。其中《灰色控制系统》和《灰色系统理论教程》等被多次重印、再版,成为畅销科技图书。国内其它出版单位以及美国 IIGSS 学术出版社也都编辑出版了灰色系统的著作。1989 年,英国科技信息服务中心和万国学术出版社联合创办了国际性刊物“The Journal of Grey System”(灰色系统学报),该刊被英国科学文摘(SA)等权威性检索机构列为核心期刊。

1985 年,全国性的灰色系统研究会宣告成立,会员遍布包括西藏在内的各省、市、区以及港、澳、台地区。目前,湖北、河南、浙江、山西、山东、河北、宁夏、台湾等地成立了灰色系统研究分会或专业性研究组织。一批热心灰色系统研究的学者先后在太原、武汉、杭州、郑州、台湾大溪召开了 10 次全国灰色系统学术会议,宣读、交流灰色系统论文 1 600 多篇。

从 1982 年至今,灰色系统理论问世仅有十多年时间,就以其强大的生命力自立于科学之林,奠定了其作为一门新兴横断学科的学术地位,在 1992 年召开的第七次全国灰色系统学术会议上,中国科学院院士陈克强教授曾指出:“自然科学各学科诞生之初,能在 10 年内迅速突破,获得重大发展的为数不多,灰色系统理论就是其中之一”。

灰色系统理论的蓬勃生机和广阔前景正日益广泛地为国际、国内各界所认识、所重视。

二、几种不确定性方法的比较

概率统计、模糊数学和灰色系统理论是三种最常用的不确定性系统的研究方法。研究对象都具有某种不确定性,这是三者的共同点。正是研究对象在不确定性上的区别派生出三种各具特色的不确定性学科。

模糊数学着重研究“认知不确定”问题,其研究对象具有“内涵明确,外延不明确”的特点。比如“年轻人”就是一个模糊概念。因为每一个人都十分清楚年轻人的内涵。但要让你划定一个确切的范围,在这个范围之内的是年轻人,范围之外的都不是年轻人,则很难办到,因为年轻人这个概念外延不明确。对于这类内涵明确、外延不明确的“认知不确定”问题,模糊数学主要是凭经验借助于隶属函数进行处理。

概率统计研究的是“随机不确定”现象,着重于考察“随机不确定”现象的历史统计规律,考察具有多种可能发生的结果之“随机不确定”现象中每一种结果发生的可能性大小。其出发点是大样本,并要求对象服从某种典型分布。

灰色系统着重研究概率统计、模糊数学所不能解决的“小样本、贫信息不确定”问题，并依据信息覆盖，通过序列生成寻求现实规律。其特点是“少数据建模”。与模糊数学不同的是，灰色系统理论着重研究“外延明确、内涵不明确”的对象。比如说到 2050 年，中国要将总人口控制在 15 亿到 16 亿之间，这“15 亿到 16 亿之间”就是一个灰概念，其外延是非常明确的，但如果进一步要问到底是哪个具体值，则不清楚。

综上所述，我们可以把三者之间的区别归纳如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 三种不确定方法的区别

项 目	灰色系统	概率统计	模糊数学
研究对象	贫信息不确定	随机不确定	认知不确定
基础集合	灰色朦胧集	康托集	模糊集
方法依据	信息覆盖	映射	映射
途径手段	灰序列生成	频率统计	截集
数据要求	任意分布	典型分布	隶属度可知
侧重	内涵	内涵	外延
目标	现实规律	历史统计规律	认知表达
特色	小样本	大样本	凭经验

三、灰色系统理论在横断学科群中的地位

人们对客观事物的认识和视角不同，划分学科体系的方式也不相同。17 世纪，培根基于科学分类应与人类的记忆能力、想象能力、判断能力相对应的认识，主张把科学划分为历史、诗歌与艺术、哲学三大门类。后来，圣西门和黑格尔分别提出按形而上学和唯心主义观点划分学科的思路。19 世纪后期，恩格斯提出按照物质运动的不同形式及其固有次序划分学科，建立了科学的体系结构，为学科分类奠定了坚实的科学基础。

在我们国家，人们通常把科学划分为文、理两大门类或按自然科学、数学、社会科学三大领域进行分类，对于自然科学基础学科，则习惯于按照数、理、化、天、地、生六大门类进行划分。钱学森教授则主张将整个科学技术体系划分为自然科学、社会科学、系统科学、思维科学、人体科学、数学科学等六大科学领域，每一科学领域又分为基础科学、技术科学、工程技术三个不同的层次。

这里，我们把学科划分建立在科学问题分类的基础之上，首先按照复杂性和不确定性对科学问题进行分类，然后根据各类科学问题的性质指出与之相应的具有方法论意义的横向交叉学科，从而明确了灰色系统理论在横断学科群中的地位。

用方框(Ω)表示世界上所有事物的集合，以圆 A, B, C, D 分别表示简单事物、复杂事物、确定性事物、不确定性事物的集合，可得到科学问题分类的四环图(图 1.1.1)，标出解决各类问题的科学方法，即得到横断学科分类四环图(图 1.1.2)。

对照图 1.1.1 和图 1.1.2，可以看出，作为解决不确定半复杂问题的科学方法，灰色系统理论与解决简单不确定问题的概率统计、模糊数学相比，实现了一次新的飞跃，而复杂不确定问题的解决，则有待于非线性科学的新突破。

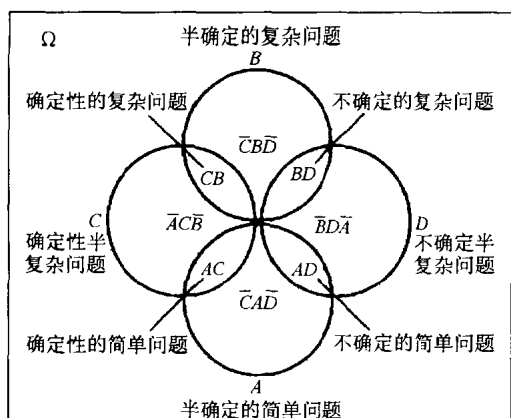


图 1.1.1 科学问题分类的四环图

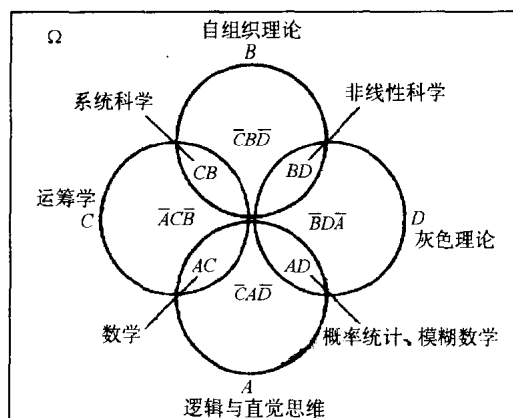


图 1.1.2 横断学科分类的四环图

1.2 灰色系统的概念与基本原理

一、灰色系统的基本概念

社会、经济、农业、工业、生态、生物等许多系统,是根据研究对象所属的领域和范围命名的,而灰色系统却是按颜色命名的.在控制论中,人们常用颜色的深浅形容信息的明确程度,如艾什比(Ashby)将内部信息未知的对象称为黑箱(Black Box).这种称谓已为人们普遍接受.再如在政治生活中,人民群众希望了解决策及其形成过程的有关信息,就提出要增加“透明度”.我们用“黑”表示信息未知,用“白”表示信息完全明确,用“灰”表示部分信息明确、部分信息不明确.相应地,信息完全明确的系统称为白色系统,信息未知的系统称为黑色系统,部分信息明确、部分信息不明确的系统称为灰色系统.

请注意“系统”与“箱”这两个概念的区别.通常地,“箱”侧重于对象外部特征而不重视其内部信息的开发利用,往往通过输入输出关系或因果关系研究对象的功能和特征.“系统”则通过对象、要素、环境三者之间的有机联系和变化规律研究其结构和功能.

灰色系统理论的研究对象是“部分信息已知,部分信息未知”的“贫信息”不确定性系统,它通过对“部分”已知信息的生成、开发实现对现实世界的确切描述和认识.

在人们的社会、经济活动或科研活动中,会经常遇到信息不完全的情况.如在农业生产中,即使是播种面积、种子、化肥、灌溉等信息完全明确,但由于劳动力技术水平、自然环境、气候条件、市场行情等信息不明确,仍难以准确地预计出产量、产值;再如生物防治系统,虽然害虫与其天敌之间的关系十分明确,但却往往因人们对害虫与饵料、天敌与饵料、某一天敌与别的天敌、某一害虫与别的害虫之间的关联信息了解不够,使得生物防治难以收到预期效果;价格体系的调整或改革,常常因缺乏民众心理承受力的信息,以及某些商品价格变动对其它商品价格影响的确切信息而举步维艰;在证券市场上,即使最高明的系统分析人员亦难以稳操胜券,因为你测不准金融政策、利率政策、企业改革、国际市场变化及某些板块价格波动对其它板块之影响的确切信息;一般的社会经济系统,由于其没有明确的“内”、“外”关系,系统本身与系统环境、系统内部与系统外部的边界若明若暗,难以分析输入(投入)对输出(产出)的影响.而同一个经济变量,有的研究者把它视为内生变量,

另一些研究者却把它视为外生变量,这是因为缺乏系统结构、系统模型及系统功能信息所致.

综上所述,可以把系统信息不完全的情况分为以下四种:

- (1) 元素(参数)信息不完全;
- (2) 结构信息不完全;
- (3) 边界信息不完全;
- (4) 运行行为信息不完全.

“信息不完全”是“灰”的基本含义.从不同场合、不同角度看,还可以将“灰”的含义加以引申(详见表 1.2.1).

表 1.2.1 “灰”概念引申

场合\概念	黑	灰	白
从信息上看	未知	不完全	完全
从表象上看	暗	若明若暗	明朗
在过程上	新	新旧交替	旧
在性质上	混沌	多种成分	纯
在方法上	否定	扬弃	肯定
在态度上	放纵	宽容	严厉
从结果看	无解	非惟一解	惟一解

二、灰色系统的基本原理

在灰色系统理论创立和发展过程中,邓聚龙教授发现并提炼出灰色系统的基本原理.读者不难看出,这些基本原理,具有十分深刻的哲学内涵.

公理 1.2.1(差异信息原理) “差异”是信息,凡信息必有差异.

我们说“事物 A 不同于事物 B”,即含有事物 A 相对于事物 B 之特殊性的有关信息.客观世界中万事万物之间的“差异”为我们提供了认识世界的基本信息.

信息 I 改变了我们对某一复杂事物的看法或认识,信息 I 与人们对该事物的原认识信息有差异.科学研究中的重大突破为人们提供了认识世界、改造世界的重要信息,这类信息与原来的信息必有差异.信息 I 的信息含量越大,它与原信息的差异就越大.

公理 1.2.2(解的非惟一性原理) 信息不完全、不确定的解是非惟一的.

“解的非惟一性原理”是灰色系统理论实际问题所遵循的基本法则,他给予你灵活性的法宝,使你处处取得实效.

“解的非惟一性原理”在决策上的体现是灰靶思想.灰靶是目标非惟一与目标可约束的统一.比如升学填报志愿,一个认定了“非某校不上”的考生,如果考分不具绝对优势,其愿望就很可能落空.相同条件对于愿意退而求其“次”,多目标、多选择的考生,其升学的机会更多.

“解的非惟一性原理”也是目标可接近、信息可补充、方案可完善、关系可协调、思维可多向、认识可深化、途径可优化的具体体现.在面对多种可能的解时,能够通过定性分析,补充信息,确定出一个或几个满意解.因此,“非惟一性”的求解途径是定性分析与定量分

析相结合的求解途径。

公理 1.2.3(最少信息原理) 灰色系统理论的特点是充分开发利用已占有的“最少信息”。

“最少信息原理”是“少”与“多”的辩证统一,灰色系统理论的特色是研究“小样本”、“贫信息”不确定性问题。其立足点是“有限信息空间”,“最少信息”是灰色系统的基本准则。所能获得的信息“量”是判别“灰”与“非灰”的分水岭,充分开发利用已占有的“最少信息”是灰色系统理论解决问题的基本思路。

公理 1.2.4(认知根据原理) 信息是认知的根据。

认知必须以信息为依据,没有信息,无以认知。以完全、确定的信息为根据,可以获得完全确定的认知,以不完全、不确定的信息为根据,只能得到不完全、不确定的灰认知。

公理 1.2.5(新信息优先原理) 新信息对认知的作用大于老信息。

“新信息优先原理”是灰色系统理论的信息观,赋予新息较大的权重可以提高灰色建模、灰色预测、灰色分析、灰色评估、灰色决策等的功效。“新陈代谢”模型体现了“新信息优先原理”。新信息的补充为灰元白化提供了基本动力。“新信息优先原理”是信息的时效性的具体体现。

公理 1.2.6(灰性不灭原理) “信息不完全”(灰)是绝对的。

信息不完全、不确定具有普遍性。信息完全是相对的、暂时的。原有的不确定性消失,新的不确定性很快出现。人类对客观世界的认识,通过信息的不断补充而一次又一次地升华。信息无穷尽,认知无穷尽,灰性永不灭。

三、灰色系统理论的主要内容

灰色系统理论经过 10 多年的发展,已基本建立起一门新兴学科的结构体系。其主要内容包括以灰色朦胧集为基础的理论体系,以灰色关联空间为依托的分析体系,以灰色序列生成为基础的方法体系,以灰色模型(GM)为核心的模型体系,以系统分析、评估、建模、预测、决策、控制、优化为主体的技术体系。

灰色朦胧集、灰色代数系统、灰色矩阵、灰色方程等是灰色系统理论的基础,从学科体系自身的优美、完善出发,这里有许多问题值得进一步深入研究。

灰色系统分析除灰色关联分析外,还包括灰色聚类和灰色统计评估等方面的内容。

灰色序列生成在本书中被统一到序列算子的概念之下,主要包括缓冲算子(弱化算子、强化算子)、均值生成算子、级比生成算子、累加生成算子和累减生成算子等。

灰色模型按照五步建模思想构建,通过灰色生成或序列算子的作用弱化随机性,挖掘潜在的规律,经过灰色差分方程与灰色微分方程之间的互换实现了利用离散的数据序列建立连续的动态微分方程的新飞跃。

灰色预测是基于 GM 模型作出的定量预测,按照其功能和特征可分成数列预测、区间预测、灾变预测、季节灾变预测、波形预测和系统预测等几种类型。

灰色决策包括灰靶决策、灰色关联决策、灰色统计、聚类决策、灰色局势决策和灰色层次决策等。

灰色控制的主要内容包括本征性灰色系统的控制问题和以灰色系统方法为主构成的控制,如灰色关联控制和 GM(1,1)预测控制等。