

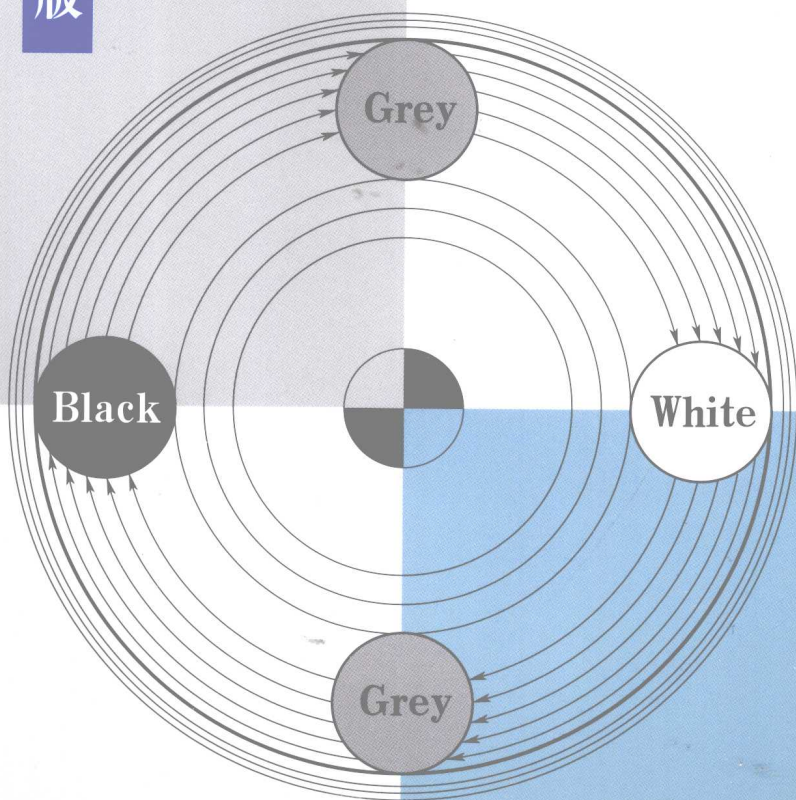


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

灰色系统理论及其应用

第四版

刘思峰 谢乃明 等 编著



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

灰色系统理论及其应用

(第四版)

刘思峰 谢乃明 等 编著

国家自然科学基金资助项目

教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目

江苏省高等学校优秀科技创新团队科研基金资助项目

国家级精品课程建设基金资助项目

江苏省精品课程建设基金资助项目

南京航空航天大学精品课程群和研究生培养规划基金资助项目

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是应广大读者要求,在前三版基础上针对教师教学和学生需要编写的普及版。本书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,精辟地向读者展示出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9章,包括灰色系统的概念与基本原理、序列算子与灰色序列生成、灰色关联分析、灰色聚类评估、灰色系统模型、灰色系统预测、灰色组合模型、灰色决策、课程实验等内容。其中,序列算子、缓冲算子公理系统及系列弱化和强化算子、灰数灰度测度公理、广义灰色关联度(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评估新方法、GM(1,1)模型的适用范围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)和离散灰色模型等系作者首次提出。另外,本书附有灰色建模系统软件包。

本书适合作为高等学校各相关专业本科生和研究生教材,亦可作为政府部门、科研机构及企事业单位的科技工作者、管理干部以及系统分析、市场预测、金融决策、资产评估和企业策划人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

灰色系统理论及其应用/刘思峰,谢乃明等编著. —4版. —北京:科学出版社, 2008

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-03-022847-5

I. 灰… II. ①刘…②谢… 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(2008)第132349号

责任编辑:林 建 马长芳 / 责任校对:桂伟利

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>

明辉印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1991年5月第 一 版 开本:B5(720×1000)

1999年6月第 二 版 印张:15

2004年11月第 三 版 字数:275 000

2008年12月第 四 版 2008年12月第九次印刷

印数:1—3 000

定价:29.00元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

主要作者简介

刘思峰,男,工学博士,1955 年生于河南省平舆县。先后就读于河南大学(基础数学)、山东大学(应用数学)和华中理工大学(数量经济学、系统工程)。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。现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“系统评价方法与模型”研究。主持国家、省部级课题和国际合作项目 50 多项;在国内外学术期刊发表论文 200 多篇,其中,英文论文 60 余篇;出版著作 16 部,其中,英文著作 2 部,分别由美国 IIGSS 学术出版社和德国 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 100 多次,论著被国内外学者引用 6000 多次。获省部级以上教学成果奖 9 项、科技成果奖 12 项,其中,“十一五”国家级规划教材 3 项,省部级一等奖 3 项、二等奖 6 项、三等奖 5 项。2002 年获系统与控制世界组织奖(著作奖)。

担任国家教育部管理科学与工程学科教学指导委员会委员(2001~2005, 2006~2010)、江苏省管理学学科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(2007~2010)、IEEE 灰色系统委员会主席、IEEESMC 中国(北京)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、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等学术职务。被聘为英国《系统与控制国际杂志》客座主编及美国《科学探索》、英国《灰色系统学报》、《中国管理科学》和中国台湾《灰色系统杂志》等 10 余种国际国内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”,并获“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”。

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(工业工程、系统工程、灰色系统理论)。现任南京航空航天大学经济与管理学院讲师。主要从事灰色系统理论和工业工程领域的研究工作。主持、参加国家、省部级科研课题近 10 项,在 *Applied Mathematical Modelling*,

Kybernetes 和《系统工程理论与实践》、《系统工程学报》、《控制与决策》等国内外重要学术刊物发表论文 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。

序

With human knowledge maturing and scientific exploration deepening and largely expanding in the course of time, mankind finally realizes the fundamental fact that due to both internal and external disturbances and limitations of human and technical sensing organs, all information received or collected contains some kind of uncertainty. Accompanying the progress of science and technology and the afore-mentioned realization, our understanding about various kinds of uncertainties have gradually been deepened. Attesting to this end, in the second half of the 20th century, the continual appearance of several influential and different types of theories and methods on unascertained systems and information has become a major aspect of the modern world of learning. Each of these new theories was initiated and followed-up by some of the best minds of our modern time.

In their recent book, entitled “Grey Information: Theory and Practical Applications” published in its traditionally excellent way by Springer, Professors S. F. Liu and Y. Lin presented in a systematic fashion the theory of grey systems, which was first proposed by J. L. Deng in early 1980s and enthusiastically supported by hundreds of scientists and practitioners in the following years. Based on the hard work of these scholars in the past (nearly) thirty years, scholars from many countries currently are studying and working on the theory and various applications of this fruitful scientific endeavor. With this book published by

such a prestigious leading publisher of the world, it can be expected that more scientific workers from different parts of the world will soon join hands and together make grey system and information a powerful theory capable of bringing forward practically beneficial impacts to the advancement of the human society.

This book focuses on the study of such unascertained systems that are known with small samples or “poor information”. Different of all other relevant theories on uncertainties, this work introduces a system of many methods on how to deal with grey information. Starting off with a brief historical introduction, this book carries the reader through all the basics of the theory. And, each important method studied is accompanied with a real-life project the authors were involved in during their professional careers.

Many of the methods and techniques the reader will learn in this book were originally introduced by the authors. They show how from our knowledge based on partially and poorly known information can be obtained to accurate descriptions and effective controls of the systems of interest. Because this book shows how the theory of grey systems and information was established and how each method could be practically applied, this book can easily be used as a reference by scholars who are interested in either theoretical exploration or practical applications or both. I recommend this book highly to anyone who has either a desire or a need to learn.

Prof. Dr. Dr. h. c. mult.
Founder of Synergetics
Hermann Haken

序一(中译文)

随着人类科学知识的日益深化和扩展,人们认识到这样一个基本事实:由于来自系统内部和外部的扰动以及人类认知技术的局限,我们所获取的信息通常具有某种不确定性。科学技术的进步使我们对各种不确定性的认识逐步深化。20世纪后半叶,一批优秀学者致力于新理论的创立和发展,多种关于不确定性系统与信息的理论和方法相继出现。

在最近由 Springer-Verlag 出版公司推出的 *Grey Information: Theory and Practical Applications* 一书中,刘思峰教授和林益教授系统地阐述了灰色系统理论。20世纪80年代,邓聚龙教授创立灰色系统理论并受到众多学者和实际工作者的热情支持和关注。在他们的大力推动下,目前许多国家的学者从事灰色系统理论和应用研究,取得了丰硕成果。国际著名出版商出版英文版灰色系统著作,将会使世界各地更多的科学工作者了解灰色系统理论,加入灰色系统研究行列,开展灰色系统与信息理论创新和应用开拓,从而推动人类社会的进步和发展。

该书主要研究小样本或“贫信息”不确定性系统。与其他不确定性理论不同的是,该书提供了许多处理灰色信息的方法。以简短的创立、发展史为导引,该书向读者全面介绍了灰色系统的基本理论,而且所有重要方法都以作者自己参与完成的实际项目为支撑。

该书中的许多方法和技术为作者首次提出,主要针对如何基于我们所能获取的有限信息实现对系统的正确描述和有效控制。正因为具有灰色系统与信息理论的建立和实际应用并重的特点,该书可供对理论探索或实际应用有兴趣的读者参

阅。我向有志于灰色系统理论研究和应用的读者强力推荐这本书。

协同学创始人 H. 哈肯

2007年7月26日

注：本文是哈肯教授为本书英文版写的书评，征得本人同意，作为第四版序。

序 二

20 世纪 70 年代末期,沐浴着改革开放的春风,我国的系统科学与系统工程研究热潮蓬勃兴起。在钱学森教授的领导和指引下,我国系统科学与系统工程研究在理论和实践上都取得了辉煌成就,也为系统科学新学科的产生和发展提供了得天独厚的土壤和条件。正是在社会、经济与科学技术迅猛发展的大背景下,灰色系统理论在中国诞生并迅速成长。

刘思峰教授和他领导的研究团队长期致力于灰色系统理论研究,多有建树。他们取得的许多成果被国内外学者大量引用,产生了广泛影响。自 20 世纪 90 年代以来,灰色系统理论的普及推广和国际合作与交流成为团队的重要工作内容,赢得 IEEE, WOSC, IIGSS 和中国高等科学技术中心、中国优选法统筹法与经济数学研究会等国际国内重要学术组织的大力支持。南京航空航天大学灰色系统研究中心先后组织并主持召开了八次全国灰色系统学术会议和十多次重要国际会议的灰色系统专题会议,并相继成立了中国(双法)灰色系统委员会和全球性的学术组织 IEEE 灰色系统委员会。2007 年 IEEE 灰色系统与智能服务国际会议的成功召开,标志着灰色系统理论正式登上国际学术舞台。呼应灰色系统理论普及推广的新要求,作为普及版的《灰色系统理论及其应用》(第四版)即将问世。该书具有以下特点:

(1) 注重通俗性、可读性。该书语言流畅,着重讲解灰色系统基本方法,尽量减少繁琐的数学推导,在理论阐述上力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂,运用大量的实例说明常用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。

(2) 更为科学、严谨。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,以更符合教科书的要求。该书编写人员对灰色系统的理论框架、数学基础和整个模型体系进行了长期、系统的研究,20多年来已逐渐形成一套新颖、独特的理论体系。此前推出的5种中英文版本被国内外高校广泛采用说明这一体系结构已为同行学者所接受。

(3) 创新性突出。该书吸收了作者在研究过程中提出的序列算子、缓冲算子公理系统、灰数与其信息含量测度、定权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)、灰色马尔可夫模型(G-M)等新的思想方法和模型技术,以及国内外学者的相关研究成果。

(4) 实用性强。该书所提供的方法和模型具有实用性强的特点,已在实践中被大量采用。《中国软科学——中国科学技术蓝皮书[第8号]》曾对此充分肯定。所附的计算机软件更是便于学生实验、实习,并运用所学方法解决实际问题。

(5) 已在国内外产生广泛影响。该书第一版1991年由河南大学出版社出版;1999年科学出版社推出第二版,2004年推出第三版,在同行中引起较大反响,2008年第八次印刷。该书英文版1998年由美国 IIGSS 学术出版社出版,是第一本系统介绍灰色系统理论的英文著作,2002年获系统与控制世界组织奖。另一本英文版于2006年1月由 Springer-Verlag 出版公司推出,在西方国家产生了广泛影响。

获悉这本普及版被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,我由衷地感到高兴,科学普及的意义与创新同样重要。在此,特向读者推荐这本集科学性、创新性、通俗性、可读性、实用性于一体的灰色系统理论普及版,深信这本书的出版将会大大促进这门新学科的普及和发展。

中国工程院院士

王众托

2008年2月16日

前 言

本书(第四版)是江苏省教学改革项目“管理定量方法精品课程群教学改革的探索与实践”的重点子项目之一,其所依托的南京航空航天大学“灰色系统理论”课程在2005年被评为江苏省精品课程,2008年被评为国家级精品课程。本书第一版、第二版、第三版均先后获奖。其中,第一版1991年由河南大学出版社出版,1998年获河南省科技进步奖(著作类)二等奖;第二版1999年由科学出版社出版,2001年获中国高校科学技术奖(著作类)二等奖;第三版2003年获中国科学院科学出版基金资助,2004年由科学出版社出版,2005年获江苏省哲学社会科学优秀成果奖(著作类)一等奖,是2004、2005年度全省管理科学领域唯一的一项一等奖。两种英文版分别于1998年和2006年由美国IIGSS学术出版社和世界著名出版商德国Springer-Verlag出版公司出版,产生了一定的国际影响。

第四版是应广大读者要求,在此前各版本基础上针对教师教学和学生学习需要编写的普及版。根据近年来读者反馈的意见和建议,精简内容,压缩篇幅;着重讲解灰色系统基本方法,尽量减少繁琐的数学推导;在理论阐述上力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂;运用大量的实例说明常用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,以更符合教科书的要求;增加练习题和课程实验等新内容,以更适合教学需要;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1~3章由刘思峰执笔;第4~6章由谢乃明执笔;第7章由党耀国执笔;第8章由方志耕执笔;第9章由米传

民执笔;所附的计算机软件由刘斌编写。全书由刘思峰审定。

灰色系统理论创始人邓聚龙教授、协同学创始人 H. 哈肯教授、系统与控制世界组织主席 R. 瓦利教授、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各版作序,许多领导、专家和灰色系统研究同仁对我们的工作鼎力支持,科学出版社有关同志更是给予通力合作,在此,作者一并表示衷心感谢!

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

作者

2008年6月

目 录

序一
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	6
1.3 灰数及其运算	9
1.4 灰数白化与灰度	17
1.5 灰数灰度的一种公理化定义	20
复习思考题	23

第 2 章

序列算子与灰色序列生成	25
2.1 引言	25
2.2 冲击扰动系统与序列算子	26

2.3	均值生成算子	34
2.4	光滑比与级比	36
2.5	累加生成算子与累减生成算子	37
2.6	累加生成的灰指数律	39
	复习思考题	41

第3章

	灰色关联分析	44
3.1	灰色关联因素和关联算子集	45
3.2	灰色关联公理与灰色关联度	48
3.3	广义灰色关联度	52
3.4	关联序	64
3.5	优势分析	65
	复习思考题	71

第4章

	灰色聚类评估	74
4.1	灰色关联聚类	74
4.2	灰色变权聚类	77
4.3	灰色定权聚类	80
4.4	基于三角白化权函数的灰色评估	83
	复习思考题	93

第5章

	灰色系统模型	95
5.1	引言(五步建模思想)	95
5.2	GM(1,1)模型	96
5.3	残差GM(1,1)模型	100
5.4	GM(1,1)模型群	104
5.5	GM(1,1)模型的适用范围	108
5.6	GM(1, N)和GM(0, N)模型	112

5.7 Verhulst 模型	116
5.8 离散灰色模型	118
复习思考题	122

第 6 章

灰色系统预测	124
6.1 引言	124
6.2 数列预测	126
6.3 区间预测	128
6.4 灰色灾变预测	131
6.5 波形预测	133
复习思考题	138

第 7 章

灰色组合模型	141
7.1 灰色经济计量学模型	142
7.2 灰色生产函数模型	149
7.3 灰色-周期外延组合模型	151
7.4 灰色人工神经网络模型	155
7.5 显性灰色组合模型的基本建模方法	157
7.6 灰色线性回归组合模型	159
7.7 灰色马尔可夫模型	162
复习思考题	165

第 8 章

灰色决策	168
8.1 灰色决策基本概念	168
8.2 灰靶决策	170
8.3 单目标化局势决策	175
8.4 灰色层次决策	178
复习思考题	183

第9章

课程实验	185
9.1 灰色建模系统(IV版)软件安装与使用	185
9.2 序列算子与灰色序列生成实验	188
9.3 灰色关联分析实验	191
9.4 灰色聚类评估实验	194
9.5 灰色系统建模与预测实验	197
9.6 灰色决策实验	200
参考文献	203
名词术语中英文对照	221