

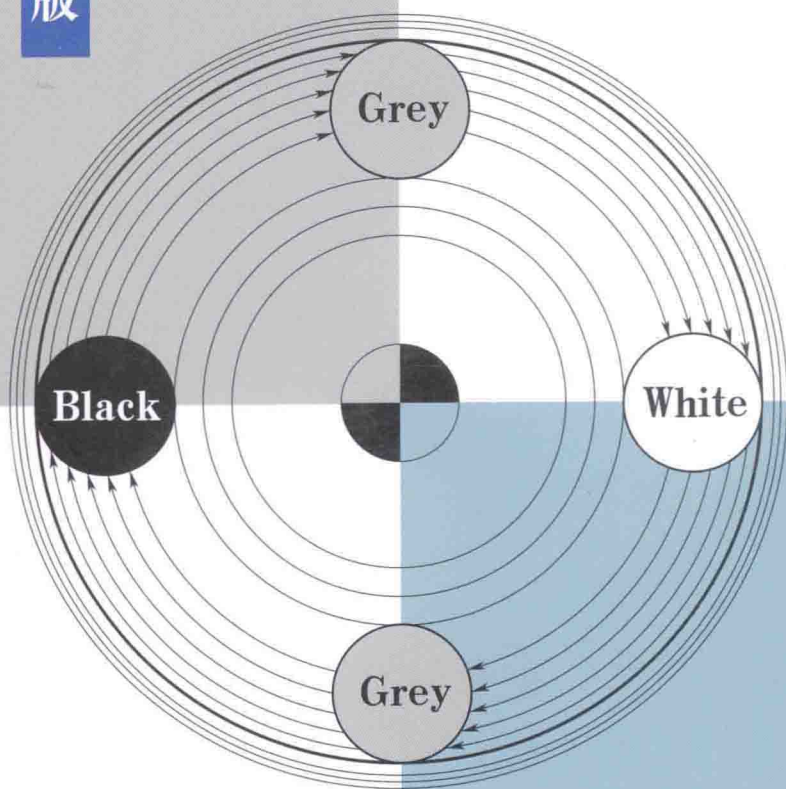
灰色系统丛书

刘思峰 主编

灰色系统理论及其应用

第七版

刘思峰 杨英杰 吴利丰 等 著



科学出版社

灰色系统丛书

灰色系统理论及其应用

第七版

刘思峰 杨英杰 吴利丰 等 著

欧盟委员会第7研究框架玛丽·居里国际人才引进计划资助项目
国家自然科学基金委员会与英国皇家学会合作交流基金资助项目
国家自然科学基金重大研究计划项目、面上项目、青年基金资助项目
“大型飞机”国家科技重大专项资助项目
国家社会科学基金重大招标课题、重点项目资助项目
中央高校基本科研业务费专项基金资助项目
国家级教学团队和国家精品资源共享课程建设基金资助项目
江苏省科技思想库和高校哲学社会科学重点研究基地基金资助项目

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地论述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 18 章,包括灰色系统的概念与基本原理、灰数及其运算、灰色方程与灰色矩阵、序列算子与灰色信息挖掘、灰色关联分析模型、灰色聚类评估模型、GM(1,1)模型、离散灰色预测模型、分数阶 GM 模型、灰色 Verhulst 与 GM(r, h)模型、灰色组合模型、灰色系统预测、灰色决策模型、灰色规划、灰色投入产出模型、灰色博弈模型和灰色控制系统等。其中一般灰数的概念、基于核和灰度的灰代数系统、序列算子、缓冲算子公理系统、原始差分 GM(1,1)模型、均值差分 GM(1,1)模型、离散 GM(1,1)模型、分数阶灰色模型、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、三维灰色关联度、定权灰色聚类评估模型、基于端点混合三角白化权函数的灰色聚类评估模型、基于中心点混合三角白化权函数的灰色聚类评估模型、两阶段灰色综合测度决策模型、多目标加权灰靶决策模型、灰色博弈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)、灰色马尔可夫模型(G-M)等是作者首次提出。书后附有灰色系统建模软件(7.0)。

本书适合作为高等学校理、工、农、医、天、地、生及经济、管理类各专业大学生和研究生教材,也可用于政府部门、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、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/刘思峰等著. —7版. —北京:科学出版社,2014

灰色系统丛书

ISBN 978-7-03-040912-6

I. ①灰… II. ①刘… III. ①灰色系统理论 IV. ①N941.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 120292 号

责任编辑:张 凯 陈 亮/责任校对:张凤琴

责任印制:阎 磊/封面设计:蓝正设计

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

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1991年2月第 一 版 开本:720×1000 B5

2014年6月第 七 版 印张:28 1/4

2014年6月第十五次印刷 字数:567 000

定价:58.00元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

主要作者简介

刘思峰,男,1998年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、纽约理工大学、英国De Montfort大学和澳大利亚悉尼大学任访问教授。1994年在河南农业大学破格晋升教授。现任英国De Montfort大学特聘教授、南京航空航天大学特聘教授、博士生导师、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、灰色系统研究所所长。2001~2012年任经济与管理学院院长。是中央联系的高级专家和江苏省高等学校优秀科技创新团队、哲学社会科学重点研究基地、江苏省科技思想库、江苏省优秀教学团队和国家级教学团队首席专家。

主要从事“灰色系统理论”和“复杂装备研制管理”等领域的教学和研究工作。主持国家重大、重点课题和国际合作项目多项;发表论文600多篇,其中SSCI、SCI、EI收录论文400余篇;出版著作22部,其中Springer-Verlag和Taylor & Francis等国际著名出版商出版英文著作7部;论著被翻译成韩文、德文和罗马尼亚文等,文献被国内外学者引用2.3万多次。获省部级以上科技成果奖16项。其中,省部级一等奖2项,二等奖12项。完成国家精品教材、国家精品课程、国家精品资源共享课程各1项、“十一五”“十二五”国家规划教材4项。2002年获系统与控制世界组织奖。

担任IEEE灰色系统委员会主席、IEEESMC江苏-南京分会主席、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理事长、江苏省管理科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,中国科协决策咨询专家和南京市人民政府决策咨询委员会委员等职务。曾任国家自然科学基金委员会第十二届、十三届专家评审组成员、国家教育部管理科学与工程学科教学指导委员会委员(2001~2013)。应邀担任国务院学位委员会、江苏省学位委员会学科评议专家,长江学者特聘教授计划、千人计划、拔尖人才,国家自然科学基金、留学基金、博士后基金和教育部博士点基金评审专家,被聘为英国《灰色系统学报》和Emerald出版集团《灰色系统:理论与应用》主编、《系统与控制国际杂志》客座主编及美国《科学探索》《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”“享受政府特殊津贴的专家”“国家有突出贡献的中青年专家”和“全国留学回国先进个人”等,获“留学回国成就奖”。2008年当选系统与控制世界组织荣誉会士(honorary fellow)。2013年入选欧盟委员会第7研究框架玛丽·居里国际人才引进计划Fellow。

杨英杰,男,现任英国得蒙福德(De Montfort)大学计算智能 Reader。他分别于1994年和2008年获得中国东北大学和英国拉夫堡(Loughborough)大学的博士学位。1994~1996年,他在北京交通大学做博士后研究。1996年被聘为北京交通大学副教授。1999年,杨英杰博士受邀到英国诺丁汉春特(Nottingham Trent)大学做博士后研究,之后又在拉夫堡大学做博士后研究至2002年。2002年,杨英杰博士被得蒙福德大学聘为高级讲师,2012年晋升为Reader。杨英杰博士长期从事计算智能和灰色系统方面的研究,在学术期刊和会议上发表了80多篇论文并承担了多个欧盟和英国的研究项目。他目前是IEEE的高级会员、IEEE灰色系统委员会的副主席、IEEE模糊系统学会竞赛委员会的副主席、英国铁路研究协会的会员。他是南航灰色系统研究所客座教授并多次担任IEEE灰色系统与智能服务国际会议程序委员会主席和副主席,目前还担任《智能与模糊系统学报》、《科学世界学报》、《灰色系统学报》和《灰色系统理论与应用》的副主编。

吴利丰,男,管理学博士生。1983年生于河北省邯郸县,2011年至今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,主要从事灰色系统理论和复杂装备研制管理研究。主持和参加国家、省部级科研课题多项,在 *Applied Mathematical Modelling*、*Technological Forecasting & Social Change*、*Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*、《系统工程理论与实践》等国内外重要学术期刊上发表论文20余篇,其中多篇被SSCI、SCI、EI等国际重要检索机构收录。担任 *Measurement*、*Economic Modelling*、*Applied Mathematical Modelling*、*Technological Forecasting & Social Change* 等期刊审稿人。曾获浙江省优秀毕业研究生称号和多项研究生创新基金资助,2013年获研究生国家奖学金。

序 一

20 世纪 80 年代初期,在我国改革开放快速推进,社会、经济与科学技术迅猛发展的大背景下,华中理工大学邓聚龙教授创立了灰色系统理论。该理论以“部分信息已知,部分信息未知”的“少数据”“贫信息”不确定性系统为研究对象,恰顺应了国家改革开放和经济建设对少数据、贫信息不确定性系统分析、建模、预测、决策方法的迫切需要,迅速受到人们的高度重视并快速成长起来。

自 1983 年起,刘思峰教授就开始投身于灰色系统理论学习和研究。他于 20 世纪 80 年代提出缓冲算子、灰色绝对关联度、灰色定权聚类评估模型及灰色矩阵定位系数等系列新模型和新概念。20 世纪 90 年代,他又提出缓冲算子及其公理系统、广义灰色关联度、灰数及其信息含量测度、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、灰色生产函数模型等,受到国内外同行的关注和肯定,一些结果还被多位同行专家在其著作中专章介绍;进入 21 世纪之后,他提出一般灰数的概念、基于“核”和灰度的灰代数系统、均值差分 GM(1,1)模型、原始差分 GM(1,1)模型和系列离散 GM(1,1)模型,并拓展了 GM 模型体系;构建了基于相似性和接近性视角的新型灰色关联分析模型、基于灰色绝对关联度和三维空间中的距离构造出三维灰色关联分析模型,为基于不同视角测度序列之间的相互关系和面板数据之间关系的分析和测度提供了有效方法和工具;所提出的基于端点和中心点混合三角白化权函数的新型灰色聚类评估模型,为解决贫信息不确定性系统评估问题提供了新方法;所提出的两阶段灰色综合测度决策模型,解决了灰色聚类系数向量各分量均衡取值或灰色聚类系数向量有若干个位于前列的主分量取值相近,难以取舍的综合决策问题;构建了能够同时表征加分和减分因素的四种新型一致效果测度函数,将灰靶临界值设计为一致效果测度函数的正负分界点,由此提出了一种新的多目标加权灰靶决策模型。

新的灰色系统理论研究框架和技术方法体系已被人们广泛接受。其中,英文专著被国内外数百所高校采用为教科书;研究成果在高档数控机床与基础制造技术、大型油气田及煤层气开发、水体污染控制与治理、大型飞机等国家科技重大专项和一百多项“973”“863”、国家科技支撑计划、国家自然科学基金重大、重点项目研究中得到实际应用,对我国科技进步和创新产生了重要作用。

自 20 世纪 90 年代以来,刘思峰教授遵照其导师邓聚龙教授的嘱托,在灰色系统理论的普及推广和国际交流方面倾注了大量心血,争取到国际国内许多重要学术组织如 IEEE、WOSC、中国高等科学技术中心和中国优选法统筹法与经济数学

研究会等的大力支持,发起成立了中国(双法)灰色系统专业委员会和全球性的学术组织 IEEE 灰色系统委员会;先后在重要国际会议组织了 14 次灰色系统专题会议,主持召开了 4 次 IEEE 灰色系统与智能服务国际会议和 16 次全国灰色系统学术会议;2012 年,获英国 De Montfort 大学支持,与英国杨英杰教授共同策划并发起组建了欧洲灰色系统研究协作网,召开了首届协作网会议,为推动灰色系统理论这一中国人原创的新学科走向世界学术舞台做出了重大贡献。

刘思峰教授的工作得到国际学术界充分肯定。2002 年,他荣获系统与控制世界组织奖,这是我国学者首次获得该项奖励;2008 年,刘思峰教授当选为系统与控制世界组织荣誉会士(honorary fellow),是第一位获此殊荣的中国学者。2013 年,刘思峰教授入选欧盟第 7 研究框架玛丽·居里国际人才引进计划会员(GS-ADM-DS FP7-PEOPLE-2013-IIF 629051),经过欧盟委员会严格评审,成为从各成员国推荐的数千名优秀学者中选拔的 184 位杰出学者中的一员,也是倾力研究、传播中国原创科学理论的中国本土成长学者入选该计划的第一人。

在南京航空航天大学,灰色系统理论已成为本科生、硕士生、博士生的一门重要课程,并成为全校各专业学生的选修课。

2008 年,灰色系统理论入选国家精品课程;2013 年,又遴选为国家精品资源共享课程,成为向所有灰色系统爱好者免费开放的学习园地。

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著作,我深信:它的出版将会大大推动灰色系统理论这门新学科的发展和传播,大大促进相关科学的发展和工程的实际应用。

南京航空航天大学教授
中国科学院院士



2014 年 1 月 15 日

序 二

The need to accept and deal with uncertainty has been epitomized by Robert Valle'e, President of the World Organisation of Systems and Cybernetics, in his observation that we live in a grey world. A variety of mathematical techniques has been applied to allow operations in pursuit of some goal while acknowledging and tolerating greyness or uncertainty. These include the classical theory of statistics based on well-established probability theory, very much developed by R.A. Fisher in application to agricultural experiments (fully treated in many texts including Krzanowski (2007)) as well as later developments including "fuzzy" methods(L. A. Zadeh,1965), and grey system theory (Deng,1982).

Klir (1989, 2006) argues convincingly that classical methods based on probability theory do not satisfy all requirements. He shows this by reference to the Dempster-Schafer theory of evidence, which requires measures of belief and plausibility that are distinct from the probability estimates of the classical theory. "Fuzzy" methods similarly require estimates of degree of membership in fuzzy sets, which again are distinct from probabilities and are manipulated differently from them. The value of the fuzzy approach has been demonstrated in a vast number of successful applications, as has also grey system theory as shown by Deng (1982) and by Lin et al. (2004), the latter in a journal issue with many other significant papers on the topic. Other important contributions on this topic include the comprehensive review by Sifeng Liu et al. (2009) and the books by Fang et al.(2010) and Liu and Lin (2011).

Mathematical means of operating under uncertainty to achieve some goal are usually devised and justified without reference to the underlying causes of uncertainty. The methods are meant to have general applicability and so to be rather insensitive to the nature of these underlying causes. Strictly, some mathematical methods are not quite so robust as tends to be assumed by users, and for example much of the standard theory of statistics relies on assumptions of data being distributed according to the normal or Gaussian distribution, although in practice this is often not the case. The dependence on the form of distribution can be avoided by resorting to nonparametric statistical methods, depending on ranking of

values, and some statisticians strongly recommend this.

The purpose of the present note is to look at sources of uncertainty at a fundamental level. As noted above, this has little if any bearing on current ways of devising and evaluating techniques for operating under uncertainty. On the other hand, examination of a topic at a fundamental level often produces new and valuable insights that were not apparent at the outset.

To explain why the world is best seen as grey or uncertain, it is first necessary to ask why its future is not effectively black or totally unknown. If by “knowing” we mean “knowing with certainty” then the future is indeed unknown (Andrew, 1994).

There is, however, another argument for a black future world when we consider the nature of science. Scientific theories are empirical and are simply the hypotheses that best fit observations to date. It is true that some theories have stood the test of time and seem unlikely to be rejected but it is necessary to remember the observation of Popper (1972) that is epitomised by observing that a theory can never be proved, but may be disproved.

Although the argument advanced by Popper confirms the conclusion that nothing of the future can be known with certainty, there are scientific theories, as well as less formal generalisations stemming from adaptation and learning, that have stood the test of time and allow us to see the world as grey rather than black. It is a world in which it is possible to live and to exercise a learning capacity that does not need to be omniscient to be extremely useful. It allows the very real progress in science and technology whose fruits we enjoy.

Even if we were to assume our scientific theories to be correct, there are several ways in which uncertainty can arise. Recent decades have seen the emergence of chaos theory, treated by Gleick (1988), which shows that many systems are in principle unpredictable even though their interactions at some atomic level are deterministic and understood. This is because of sensitive dependence on initial conditions, which has been half-jokingly referred to as the “butterfly effect”, quoted by Gleick as the suggestion that butterfly stirring the air today in China can transform storm systems next month in New York.

World weather is a prime example of a chaotic system but it is just one among many, including biological and social and economic systems. Chaotic behaviour can even be shown by quite simple systems including a variety of executive toys.

Apart from the matter of chaos, however, another reason for uncertainty is that there is often a limit to the number of transducers that can be used to observe a system. The world weather system is monitored by many weather stations on the ground, as well as by ships and aircraft, but these can allow only coarse sampling. The advent of satellite observations effectively increased the monitoring capability by an enormous factor, with a significant increase in the accuracy of short-term weather forecasts.

However, the weather and other important environmental factors are influenced by conditions in places where current technology offers no way of placing transducers, and it is difficult to imagine technical developments that would allow such placement. For example, the weather is influenced by conditions inside the sun, giving rise to solar flares and particles streaming into space and bombarding the earth. Somewhat similarly, though closer to home, earthquakes and volcanic eruptions are initiated by conditions in the depths of the earth, where again the placing of transducers is impossible. Conditions like these, that defy monitoring, are another source of uncertainty.

As noted above, the sensitive dependence on initial conditions, epitomised as the “butterfly effect”, can arise even where the underlying atomic events are deterministic. It has for instance been observed in digital computer simulations, where a small difference in the conditions of the simulation, such as a difference in word length and hence precision, may produce drastically different outcomes. A digital computer can be regarded as deterministic because of the great redundancy of physically atomic events underlying its operation. However, we know from quantum mechanics that events at the atomic level are not deterministic. The Heisenberg uncertainty principle, and the interpretation of the Schrodinger wave equation in terms of probabilities, indicate another possible source of uncertainty.

In an influential early paper, von Foerster (1950) accounted for observations on human memory in terms of forgetting as a probabilistic quantum event. This helps to confirm the importance of quantum events as sources of uncertainty and also gives a reminder that, in addition to the sources already mentioned, uncertainty can arise from deficiencies of our means of storing data, as well as means of obtaining and transmitting it.

Uncertainty is particularly evident in data involving biological entities, including that arising from the agricultural experimentation that inspired the devising

of the methods of classical statistics. It is particularly evident in data from social and economic systems, where people are involved. That people tend to be unpredictable is tacitly acknowledged in the decline of interest in “world models” of the kind pioneered by Forrester (1961) and much used in studies reported by Meadows et al. (1972). World models represent economic systems as sets of differential equations, and humans behave in ways that make this inappropriate. It can also happen that people deliberately introduce randomness into their behaviour, perhaps as an aid to exploring and mapping their environments, or in a competitive situation to confuse the opposition or in others to attract attention.

This special capability of humans, and to a lesser extent other living creatures, might be seen as an expression of free will, and philosophers have long debated the nature of this. If the arguments of Turing (1950) are accepted as showing that machines can truly be said to “think”, it is reasonable to regard people as equivalent to extremely complex machines. I personally find this view quite acceptable, but it should be noted that not everyone agrees with Turing and some other viewpoints can be found in the book of Preston and Bishop (2002).

Alex M. Andrew

The former general director of World Organisation of Systems and Cybernetics

序二(中译文)

系统和控制世界组织主席 Robert Vallee 先生关于“人类生活在灰色之中”的论断高度概括了人们接受和处理不确定性的需要。在承认和容忍灰色或不确定性的背景下,人们运用各种不同的数学方法以实现某些目标。其中包括因 R. A. Fisher 在农业实验中的应用而得到迅速发展的基于概率论的经典统计理论(许多教科书中都有详细论述,如 Krzanowski(2007)),以及后来发展起来的“模糊”方法(L. A. Zadeh, 1965)和灰色系统理论(邓聚龙,1982)等。

Klir(1989,2006)论证了基于概率论的经典方法无法满足所有需求的观点。他参照 D-S 证据推理,论证了 D-S 证据推理关于可信度和合理性的测度与经典的概率估计理论有明显区别。“模糊”方法则需要估计模糊集中元素的隶属度,这不同于概率而且处理方法也不一样。模糊方法的价值业已被大量成功应用所证明。如林(2004)等在 Kyberbetes 出版的灰色系统专辑上的文章所述,灰色系统理论也得到成功应用。关于灰色系统的其他重要贡献有刘思峰的综述(2009)、方等的著作(2010)、刘和林的著作(2011)等。

人们设计和调整不确定数学方法的操作以实现某种目标,通常并不考虑导致不确定性的潜在原因。这些方法具有普适性,而且对于潜在原因的特征相当不敏感。严格说来,一些数学方法并不像使用者所想象的那么稳健。例如,统计学的标准理论要求数据满足正态分布或高斯分布,而实际情况常常并非如此。避免对数据分布形式的依赖可以借助基于数值排序的非参数统计方法,而很多统计学家也强烈推荐这一方法。

我们试图从基本层面上探寻不确定性的根源。如前所述,现有不确定性设计和评价技术对此关注不多;此外,对问题基本层面的探究往往会产生新的、有价值的领悟,而这些领悟在一开始并不明显。

要解释为什么世界是灰色的或者不确定的,首先需要搞清楚为什么未来并不是黑色的或完全未知的。如果我们所谓的“知道”意味着“确定地知道”,那么未来的确是未知的(Andrew,1994)。

当我们考虑科学本质时,还有另一个关于黑色未来世界的观点。科学理论具有经验性,仅仅是最适用于最新观察的一个假说。虽然有些理论确实经受了时间的检验,并且似乎不可能被抛弃。但我们要牢记波普(1972)的话:理论不能被证实,却能被证伪。

虽然波普的观点肯定了未来难以确知的论断,但是仍然有一些科学理论和一

些基于适应性和学习行为的非正式归纳经受住了时间的检验,让我们看到世界是灰色的而不是黑色的。我们能够生活于斯并且运用学习能力,享受科技进步的成果,而不必无所不知。

即使我们假设科学理论是正确的,仍有多种方式导致不确定性产生。近几十年来产生的混沌理论(Gleick(1988)曾有较多研究)表明,很多系统即使在原子层面上其交互作用是确定的、可理解的,但实质上仍是不可预测的。其原因是初值敏感性,也被 Gleick 半开玩笑地称作“蝴蝶效应”。他说今天一只蝴蝶在中国扇动翅膀,可能会导致下个月纽约的一场大风暴。

全球气象系统是混沌系统一个最好的例子,其他的例子还有生物、社会、经济系统等。即使一些十分简单的系统也存在混沌现象,如玩具操控的变化等。

除混沌问题外,另一个导致不确定性的原因是用来监测系统的传感器数量有限。如由许多地面、海上和空中监测点组成的全球气象监测系统,至多也只能做到粗采样。人造卫星的出现使气象监测能力得到有效提高,短期天气预报的精度随之大幅上升。

然而,气象和其他环境因子的观测还受到诸多限制,如在现有技术条件下有些地方根本无法放置传感器,而且很难想象技术发展何时能解决这一问题。例如,天气受到太阳耀斑的产生、粒子流进入太空并轰击地球等太阳内部状况的影响;距离我们更近的地震和火山爆发由地球深处状况引发,而我们无法在太阳内部和地球深处放置传感器。像这些妨碍监测的情形是不确定性的另一个来源。

如前所述,即使在原子层面事件完全确定,以“蝴蝶效应”为代表的初始条件敏感性仍然会发生。例如,在数字计算机仿真中可以观察到,仿真条件发生微小的改变会产生完全不同的结果。因其运算基于物理原子事件的大量冗余,计算机可以认为是确定性的。然而,量子力学阐明了事件在原子层面具有不确定性。海森伯不确定性原理和基于概率的薛定谔方程表明了不确定性的另一个来源。

von Foerster 在其早期一篇有影响力的论文(von Foerster, 1950)中阐明了他将遗忘视为概率量子事件对人类记忆的观察。这有助于确定量子事件作为不确定性来源的重要性,并且提醒我们除了已经提到的来源,存储、获得、传播数据方法的缺陷也会导致不确定性。

关于生物体数据的不确定性十分明显,包括那些曾促进经典统计学方法发展的农业实验数据。人类参与的社会经济系统数据也明显具有不确定性。随着 Forrester(1961)提出并被 Meadows(1972)等在研究中大量应用的“世界模型”的热度减退,人类行为具有不可预测性的观点逐渐得到认可。世界模型试图用一组微分方程表达经济系统,而人类的行为方式却不宜这样表达。人类在探索、描绘环境的过程中可能会有意借助“掷骰子”的方法,也可能为了在竞争中迷惑对手,或为吸引注意力而“掷骰子”。

人类,或是生物在某种程度上所具有的这种特殊能力,可以看成是自由意志的表达,哲学家对其本质曾长期争论不休。如果接受图灵(1950)关于机器能够真正“思考”的观点,我们可以将人类视为极为复杂的机器。我个人认为这个观点是可以接受的,但应当注意的是,并不是每个人都认同图灵的观点,另外的观点可在 Preston 和 Bishop(2002)的书中找到。

Alex M. Andrew
系统与amp;控制世界组织前总干事长
(芮菡菡译,刘思峰审校)

注:序二原刊于 *Grey Systems: Theory and Application* 2011 年 1 卷 2 期,题为“Why the world is grey”。Alex M. Andrew 先生 2011 年曾来中国出席系统与amp;控制世界组织第 15 届年会和第 3 届 IEEE 灰色系统与智能服务国际会议联合大会,回到欧洲后 2012 年不幸因病辞世。特以此文作为本书第七版序言之一(略有删节),以纪念先生并感谢他对新兴学科的鼎力支持。

前 言

《灰色系统理论及其应用(第七版)》是应读者要求,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。其中一般灰数的概念及其运算法则、原始差分 GM(1,1)模型(ODGM)、均值差分 GM(1,1)模型(EDGM)以及 GM(1,1)模型 4 种基本形式(EGM、ODGM、EDGM、DGM)各自适用的序列类型、分数阶灰色模型、基于端点和中心点混合三角白化权函数的灰色聚类评估模型、两阶段灰色综合测度决策模型和三维灰色关联分析模型等均为此前各中英文版本中未曾出现过的最新内容。书后所附的灰色系统建模软件(7.0)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,我们始终坚持理论阐述简明扼要、深入浅出、通俗易懂的原则;突出灰色系统思想方法和模型技术的实际应用;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 1,2,5~7,13,15 章由刘思峰执笔;第 3,4,12 章由杨英杰执笔;第 9 和 10 章由吴利丰执笔;第 8 章由谢乃明执笔;第 11 章由营利荣、关叶青执笔,第 14 章由党耀国执笔;第 16 章由方志耕执笔;第 17 章由苏春华、张可执笔;第 18 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。

相关研究工作曾得到欧盟委员会第 7 研究框架玛丽·居里国际人才引进计划资助项目(FP7-PIIF-GA-2013-629051)、国家自然科学基金委员会与英国皇家学会合作交流项目(71111130211)、国家自然科学基金(91324003, 71371098, 71271226, 71173104, 71171113)、“大型飞机”国家科技重大专项(2009ZX11002)、国家社会科学基金重大招标项目(10zd&.014)、重点项目(12AZD102)、中央高校基本科研业务费专项基金(NJ20140032)、江苏省科技思想库(BR2013075)、江苏省高等学校哲学社会科学重点研究基地(2014JDXM015)、国家级教学团队基金(10td128)和国家精品资源共享课程建设基金的资助。灰色系统理论创始人邓聚龙教授、协同学创始人 H. Haken 教授、模糊数学创始人 L. A. Zadeh 教授、系统与

控制世界组织主席 R. Vallee 教授和总干事长 A. M. Andrew 教授、加拿大皇家科学院院长 K. W. Hipel 教授、中国科学院杨叔子院士、熊有伦院士、林群院士、陈达院士、胡海岩院士、中国工程院王众托院士、许国志院士、杨善林院士等许多著名学者、专家和灰色系统研究同仁都曾对我们的工作给予热情鼓励和鼎力支持,科学出版社领导和老师更是通力合作,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

2014 年 3 月

目 录

序一	
序二	
序二(中译文)	
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	1
1.2 灰色系统的概念与基本原理	12
第 2 章 灰数及其运算	16
2.1 灰数	16
2.2 灰数白化与灰度	17
2.3 灰数灰度的公理化定义	20
2.4 区间灰数的运算	23
2.5 一般灰数及其运算	24
第 3 章 灰色方程与灰色矩阵	33
3.1 灰色代数方程与灰色微分方程	33
3.2 灰色矩阵及其运算	34
3.3 几种特殊的灰色矩阵	37
3.4 灰色矩阵的奇异性	38
3.5 灰色特征值与灰色特征向量	40
第 4 章 序列算子与灰色信息挖掘	42
4.1 引言	42
4.2 冲击扰动系统与缓冲算子	43
4.3 实用缓冲算子的构造	46
4.4 均值生成算子	55
4.5 准光滑序列与级比生成算子	57
4.6 累加生成算子与累减生成算子	58
4.7 累加生成序列的灰指数规律	60
第 5 章 灰色关联分析模型	63
5.1 灰色关联因素和关联算子集	66
5.2 距离空间	69