

本专著得到福建省自然科学基金面上项目（2019J01881）资助

复杂系统 仿真的 经济管理应用

■ 王洪利 / 著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

本专著得到福建省自然科学基金面上项目（2019J01881）资助

复杂系统仿真的经济 管理应用

王洪利 著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

社会经济与管理系统是涉及许多子系统和因素的复杂系统，复杂系统具有非线性、涌现、主体互适应、变量具有不确定性等特征。本著作从经济管理复杂系统的经济管理应用角度，论述了复杂系统仿真在经济和管理系统中的具体应用，主要有关系型社群的商务行为演化分析、电子商务平台知识产权监管、面向电子商务人工系统的情绪建模与仿真、设备故障间隔预测、连续双向拍卖、电子商务产业园共生演化、共享经济参与主体的决策行为分析、风险决策中时间压力影响的仿真、秘书问题的仿真分析等，旨在通过这些具体应用为处理社会经济与管理复杂系统提供参考和借鉴。

本书结构合理，应用案例丰富，论证充分，内容充实，适用于从事经济管理类复杂系统仿真应用相关研究的本科生、研究生和相关学者阅读参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

复杂系统仿真的经济管理应用 / 王洪利著. --北京:
北京理工大学出版社, 2022. 3

ISBN 978-7-5763-1126-6

I. ①复… II. ①王… III. ①经济管理-系统仿真
IV. ①F2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2022) 第 041109 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68944723 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 13.25

字 数 / 249 千字

版 次 / 2022 年 3 月第 1 版 2022 年 3 月第 1 次印刷

定 价 / 72.00 元

责任编辑 / 孟祥雪

文案编辑 / 孟祥雪

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

复杂系统的相关研究被誉为 21 世纪的新科学，其应用范围也越来越广泛，小到一个组织内部的奖励制度，大到关系国计民生的政策制定和实施，均与复杂系统的研究密切相关。社会、经济和管理领域处理的问题一般都是复杂系统问题。复杂系统涉及众多因素（变量）和子系统，各变量和子系统之间的关系一般是非线性的。

复杂系统的变量一般具有不确定性，这种不确定性往往表现为模糊性、随机性和灰性等。与以往注重研究系统的非线性、复杂适应性和混沌等特性不同的是，本著作从复杂系统中变量的不确定性入手，给出了复杂系统中变量的不确定性表示和推理问题。给出了基于灰云模型的复杂系统中变量的不确定性表示和不确定性推理，包括给出了灰云逻辑和泛逻辑的具体内容，为复杂系统问题及其仿真提供了变量的不确定性表示模型和不确定推理方法；给出了基于云模型的复杂不确定性系统中强化学习方法，为处理仿真中的不确定性提供了变量表示、知识推理，并为强化学习提供了理论和方法借鉴。

复杂系统的仿真一般难以使用单一的建模方法进行解决，遵循钱学森先生提出的系统集成理念、思想和方法体系，本著作提出了面向复杂系统仿真的系统集成式建模方法，有机融合，可以充分发挥多种建模方法的优势，为复杂系统的仿真建模提供了有力的方法。文中给出了将 Agent、系统动力学和社会网络综合集成的 MAD 型社会网络模型，在实际应用中，可以根据需要系统集成已有的两种或多种建模方法。本著作给出了基于 MAD 型社会网络模型的隐性知识管理系统的建模方法案例。

社会、经济与管理领域存在大量的复杂系统，本著作给出了复杂系统仿真在经济和管理领域的具体应用实例，具体包括在关系型社群的商务行为演化分析、关键词竞价、连续双向拍卖、电子商务产业园共生演化、共享经济参与主体的决策行为分析、风险决策中时间压力影响的仿真、秘书问题的仿真分析等方面的应

用。这些应用中，有的用到了综合集成仿真建模方法，有的体现了复杂系统的复杂适应思想，有的体现了复杂系统的非线性或动力学思想。这些复杂系统的建模仿真应用为解决社会、经济与管理领域的复杂系统问题提供了很好的参考和借鉴。

著 者

2021年7月12日

第一篇 复杂系统中不确定性处理方法

第 1 章 绪论	(3)
第 1 节 复杂系统建模仿真及其经济管理应用	(3)
第 2 节 不确定性及其表示模型	(7)
本章参考文献	(9)
第 2 章 一种不确定性的综合描述方法	(13)
第 1 节 不确定性的内涵	(13)
第 2 节 不确定性的综合描述模型	(14)
第 3 节 基于 UUM 模型的不确定知识表示与推理	(16)
本章小结	(20)
本章参考文献	(20)
第 3 章 灰云模型	(21)
第 1 节 灰云模型概念	(21)
第 2 节 灰数白化模型	(23)
第 3 节 灰云模型的改进	(25)
本章小结	(29)
本章参考文献	(29)
第 4 章 灰云逻辑及其不确定性推理	(30)
第 1 节 概述	(30)
第 2 节 灰云逻辑及其推理方法	(33)
本章小结	(36)
本章参考文献	(36)

第 5 章 基于云模型的不确定系统强化学习	(38)
第 1 节 概述	(38)
第 2 节 云模型强化学习方法	(39)
第 3 节 云模型强化学习 Mountain-Car 实验分析	(41)
本章小结	(44)
本章参考文献	(44)

第二篇 复杂系统仿真综合集成建模方法

第 6 章 复杂系统仿真的综合集成式建模方法	(49)
第 1 节 综合集成仿真建模方法	(49)
第 2 节 基于综合集成的隐性知识系统平行管理系统建模	(52)
本章小结	(62)
本章参考文献	(62)

第三篇 复杂系统仿真经济管理应用

第 7 章 基于情感计算的关系型社群商务行为的演化分析	(69)
第 1 节 概述	(69)
第 2 节 社群商务行为影响因素的多 Agent 动力学综合集成模型	(70)
第 3 节 社群商务行为影响因素的多 Agent 动力学仿真演化分析	(73)
本章小结	(80)
本章参考文献	(80)
第 8 章 电子商务平台知识产权监管的仿真分析	(81)
第 1 节 概述	(81)
第 2 节 基于元胞自动机的电子商务平台知识产权监管模型	(82)
第 3 节 电子商务平台知识产权监管演化仿真分析	(88)
本章小结	(94)
本章参考文献	(94)
第 9 章 面向电子商务人工系统的情绪建模与仿真	(96)
第 1 节 概述	(96)
第 2 节 人工情绪模型	(99)
第 3 节 电商顾客购物的计算实验分析	(105)

本章小结	(110)
本章参考文献	(111)
第 10 章 基于系统动力学的工程机械设备故障间隔仿真预测	(114)
第 1 节 概述	(114)
第 2 节 工程机械设备故障时间间隔系统动力学建模	(116)
第 3 节 设备故障时间间隔仿真预测案例	(118)
本章小结	(123)
本章参考文献	(123)
第 11 章 基于共生理论的电子商务产业园生态演化动力学分析 ..	(125)
第 1 节 概述	(125)
第 2 节 电子商务产业园生态系统共生演化分析	(126)
本章小结	(134)
本章参考文献	(134)
第 12 章 基于元胞自动机的连续双向拍卖报价策略	(136)
第 1 节 概述	(136)
第 2 节 连续双向拍卖有限感知式报价策略	(138)
第 3 节 有限感知式报价策略的演化仿真分析	(142)
本章小结	(146)
本章参考文献	(147)
第 13 章 基于演化博弈的共享经济参与主体的行为分析	(149)
第 1 节 概述	(149)
第 2 节 共享经济主体行为的演化博弈分析	(150)
第 3 节 模拟情境的仿真分析	(155)
本章小结	(160)
本章参考文献	(160)
第 14 章 基于相似度赋值的社会网络分析及其应用	(161)
第 1 节 概述	(161)
第 2 节 基于相似度赋值的社会网络分析方法	(163)
第 3 节 基于相似度赋值社会网络的面向社会化标签推荐	(165)
第 4 节 基于相似度赋值社会网络的社会化标签推荐应用	(168)
本章小结	(173)
本章参考文献	(173)

第 15 章 风险决策中时间压力影响的仿真分析	(175)
第 1 节 相关理论概述	(175)
第 2 节 时间压力对风险决策信息搜寻的影响分析	(177)
第 3 节 时间压力影响下的风险决策	(180)
第 4 节 仿真分析	(181)
本章小结	(183)
本章参考文献	(183)
第 16 章 秘书问题的仿真实验分析	(184)
第 1 节 概述	(184)
第 2 节 决策策略、观察成本及其对秘书问题决策的影响	(185)
第 3 节 考虑观察成本的秘书问题的仿真分析	(187)
第 4 节 提示信息对秘书问题决策影响的仿真分析	(195)
本章小结	(202)
本章参考文献	(202)

第一篇

复杂系统中不确定性处理方法

第 1 节 复杂系统建模仿真及其经济管理应用

复杂系统的研究在 21 世纪得到学者的广泛关注，人们逐渐认识到无论是在自然界还是在社会经济领域，复杂系统是普遍存在的。现实世界中的绝大部分系统都是复杂系统，复杂系统最初由霍兰提出，具有聚集、非线性、自适应、涌现、动态演化等特征^[1]。现实中的经济管理系统通常有许多影响因素，这些影响因素之间具有非线性的影响关系。从复杂科学衍生的复杂系统视角为理解经济社会现象提供了全新观察角度^[2]，复杂系统的研究需要具有跨学科的研究视角。

一、复杂系统的变量特征

复杂系统中事物或概念具有不确定性，这种不确定性表现为变量（属性）的不确定，直接导致变量（属性）难以量化，从而影响了对系统复杂适应、混沌等行为的研究与分析，也影响了对系统非线性运算的开展与分析。

二、复杂系统的仿真建模

1. 复杂系统的仿真建模研究

仿真是研究复杂系统常用且有效的方法。建模是仿真的基础，常用的复杂系统建模方式是基于多 Agent 的建模方法^[3]，该方法以具有自主性的 Agent 主体间的相互作用模拟复杂系统的非线性作用，进而研究复杂系统的行为。系统动力学^[4]为复杂系统的研究提供了非线性作用的研究方法，其以一组非线性偏微分方程方式来模拟系统。遗传算法传承人霍兰教授提出复杂适应系统^[5]建模方法——回声

模型，为复杂系统的建模提供了整体的指导思想和方法。博弈论^[6]是与仿真方法互补的研究复杂系统的有效方法。中国学者王飞跃提出的平行管理为研究复杂系统提供了全新的方法论视角，其基于“人工系统+计算实验+平行执行”（ACP）对复杂系统进行研究与分析，平行管理思想和方法为研究复杂系统提供了新的思路和方法。基于“人工系统+计算实验+平行执行”的平行系统管理与控制方法是中国科学院研究员王飞跃在2004年提出的处理复杂管理系统的有效方法^[7~9]。针对复杂系统的应用研究，使用较多的传统方法包括：基于多智能体（multi-agent）的建模方法、基于系统演化的系统动力学方法、基于学习和进化的智能方法。这些方法和技术本质上还属于对现实世界的仿真，对问题的解决往往停留在表面层次和专业领域，还不能满足复杂性研究的需要^[10]。综合集成法是著名科学家钱学森于20世纪80年代提出的处理复杂系统的方法^[11]，平行管理系统方法继承和发展了钱学森的综合集成方法和思想体系。平行管理系统的基本方法为“人工系统+计算实验+平行执行”。所谓平行管理，是指由一个自然的现实系统和对应的一个或多个虚拟或理想的人工系统所组成的共同系统^[12]。对于复杂系统的研究，大多数情况下，既没有系统的足够精确的数学模型，也不可能建立可以解析地预测系统短期行为的模型，必须设法挖掘平行系统中人工系统的潜力，使人工系统在实际复杂系统的管理与控制中发挥作用^[9]。ACP方法是基于复杂社会系统存在“多重世界”的观点，构建具有现实意义的计算化的人工社会实验室，利用计算实验方法对实验情境进行各种实验与分析，最后，综合利用多种数据感知与同化手段，实现人工社会与真实社会的平行演化^[13]。基于人工系统的计算实验思想，就是将计算机作为复杂系统的实验室，通过大量的计算性“实验”，对系统行为进行分析^[14]。计算实验与系统仿真基于相同的技术，但在指导思想和理念上却有着本质上的不同。由于涉及社会与人的复杂系统有内在的主观性，故可以更进一步把仿真结果作为现实的一个替代版本，或一种可能出现的现实，而把实际系统也作为可能出现的现实中的一种，这一思路正是由系统仿真走向计算实验的基础^[12]。基于ACP解决复杂系统问题的基本原则是：在不断探索和完善的原則下，寻求复杂系统的有效解决方案，建立系统的新型研究体系和方法，利用人工系统、计算实验和平行执行方法和理论，结合定性与定量的综合集成法和并行分布式高性能计算技术，建立系统研究的理论和方法体系^[15]。在计算实验中，传统的计算模拟变成了“计算实验室”里的“实验”过程，成为生长和培育各类复杂社会经济系统的手段，而实际系统只是这个计算实验室的一种可能结果而已^[12,16]。ACP方法通过实际系统与人工系统的相互作用，完成对实际系统的控制和管理，对相关行为和决策进行管理和评估，对有关人员和系统进行学习与培训等。并行执行的平行系统的主要目的是，通过实际系统与人工系统的相互联结，对二者之间的行为进行对比和分析，完成对各自未来的状况借鉴和预估，相互地调节各自的管理和控制方式，达到管理和控制的目标^[12]。建立复杂系统平行管理方法的基本步骤为：

首先建立系统的社会性和工程性的计算模型，形成开放的人工系统架构体系；其次借助该人工体系联合先进的计算技术，采用计算实验方法，对复杂生产实验系统进行实验，分析和评估掌握系统的演化规律；最后通过人工系统和真实系统的平行执行，实现复杂系统的综合管理与控制^[17]。在人工系统中，人的行为及其管理规律具有明显的社会复杂经济的主观性，由此带来更多的不确定性，因此人的行为及对其实施管理的社会、文化、制度是人工系统中进行计算实验的主要内容^[17]。根据这一思想，基于 ACP 的平行管理系统中使用的基本建模方法是基于 Agent 的建模方法。人工系统建模的主要手段就是代理编程，其主要特征是集自主性、交互性、学习与进化自适应能力等于代理一身，使之成为建模的基本元素。利用代理方法描述人工系统，主要由代理模型、环境模型，以及代理之间、环境之间和代理环境之间的交互规则组成^[14]。如在基于 Agent 的人工高速铁路建模中，通过对实际高速铁路系统的分析，基于 Agent 进行人工高速铁路建模，用于平行管理与控制^[18]。在基于 ACP 的城市轨道交通平行管理研究中，提出了基于 Agent 的城市轨道交通建模方法^[19]。在基于 ACP 方法的电子商务系统复杂性研究中，使用 Agent 代理方法建立了与真实电子商务系统平行执行的电子商务社会实验平台，为复杂性研究结果的评估、验证和修正提供了实验环境^[20]。由于复杂系统的综合集成特征，ACP 研究中建模方法常采用基于 Agent 与其他建模方法相结合的综合集成模型。如在平行应急管理系统人工社会的语义建模中，分析了平行应急管理系统对人工社会建模的内在需求，提出采用网络本体语言对人工社会建立语义模型的方法，将语义网技术合理地应用到 Agent 智能体模型和人工社会关系网络描述中，建立应急场景客观世界和社会关系的本体概念集合，实现智能体 Agent 的知识和推理规则的语义描述，提高智能体 Agent 的智能性和协同能力^[21]。在复杂生产系统的平行管理研究中，除建立现有的单个 Agent 的认知模型、推理模型和行为模型、多 Agent 的相互信息交互过程模型外，在建模过程中，企业的管理规定、员工的行为规章制度以及应急预案等将会对员工的行为和班组行为产生很大影响，然而它们更多地涉及很多非数值的、语言层次上的描述和结构性描述，为了使静态文本信息转变为动态的计算信息，将主观的企业管理规定变成可以计算评估的信息，主要借助集成基于模糊逻辑的语言动力学对代理 Agent 行为进行建模、分析和评估^[15]。中国著名科学家钱学森先生提出的综合集成方法^[22] 为研究复杂系统提供了有效的思想、理论和方法，在这一思想指导下的综合集成研讨厅^[23] 的研制和开发为解决复杂问题提供了现实工具，基于综合集成思想研究复杂系统的仿真建模，将为复杂系统的研究提供有力的工具和方法。复杂网络^[24] 一般具有自组织、自相似、吸引子、小世界、无标度等特征，是研究具有相关特征的复杂系统的有效方法。社会网络分析方法^[25] 为复杂社会系统的研究提供了有力的建模和仿真方法。

2. 复杂系统建模仿真的经济管理应用研究

复杂系统建模仿真在经济管理中有着广泛而深入的研究和应用。研究者考虑安全因素对共享乘车行业的影响机制并进行了系统动力学仿真^[26]；提出了污水处理 PPP 项目收益优化的系统动力学仿真研究^[27]；基于 Agent 仿真模型对城市犯罪演化进行了研究^[28]。研究者对异质从众行为与股价波动进行了 Agent 仿真研究^[29]。以中原经济区 X 乡为例，基于社会网络分析法对乡村聚落空间网络结构优化进行了研究^[30]；以中国水产科学研究院为例，基于社会网络对渔业专利进行了分析^[31]；对北京电动汽车供应网络发展进行了复杂适应系统仿真研究^[32]；提出了基于回声模型及 Gaia 方法的复杂适应系统仿真建模及应用^[33]；构建了基于混合编程的梯级水库群综合集成仿真调度平台^[34]；提出了基于 MAS 的体系效能综合集成仿真模型^[35]。

基于 ACP 的平行管理系统方法，自从提出以来得到日益深入的广泛应用，取得了丰硕的应用成果，获得了良好的经济和社会效益，相关研究给出了 ACP 方法在交通应用中的概念、结构和案例^[36]。在智慧社会的应用中，以虚实互动的平行系统为手段，推动对社会的全面感知、建模、解析、决策及反馈执行，进而实现集舆情感知、平行管理和移动指挥与控制为一体的闭环反馈组态式社会管理，全面提升其功能与服务水平^[37]。在 2010 年广州亚运会期间的交通控制与管理应用中，使用 ACP 方法有效地实现了交通的高效平行管理和运营^[38]。在应急管理，引入复杂系统研究中的 ACP 方法，设计了面向平行应急管理的计算实验框架，根据一般实验框架原理，结合平行应急管理的特点，给出了平行应急管理计算实验过程模型；最后以此框架支撑 KD-ACP 平台进行北京市甲型 H1N1 的计算实验研究，根据应急指南设计了四级响应措施，并对实验结果进行了对比。通过应用，表明该实验框架能够很好地支持平行应急管理^[39]。在提高核电站安全可靠性的平行系统方法应用中，以 ACP 方法为基础，基于信息技术最新发展成果，提出了采用自上而下的规划和自下而上的设计相结合的方法，来开发“核电站可靠性规划和设计软件包”，使得核电站在建造前就有了安全可靠方面的科学依据^[40]。在基于 ACP 方法的电子商务系统复杂性研究中，运用 ACP 方法综合分析电子商务的特点，提出了基于 ACP 方法的电子商务系统复杂性研究方法论、基于 Agent 的代理建模实验、决策和量化计算 4 个主要问题的解决方法^[20]。在能源系统的应用中，利用虚拟人工模型，采用平行系统，建立能源 5.0 的理论、框架和技术，指出能源 5.0 的核心是构建与实际能源系统同构的虚拟人工能源系统，通过虚拟人工能源系统的计算实验，确定优化控制策略，引导实际能源系统运行，并使虚拟人工系统和实际系统平行执行、共同演化，形成智能能源系统^[41]。ACP 方法在乙烯周期生产管理的应用中，提出了乙烯周期生产管理的平行评估方法和具体手段，提升了管理的科学化水平^[42]。在基于平行系统的非常规突发事件计算实验平台研究中，将

ACP 方法引入突发事件应急管理领域,为相关理论研究成果验证提供计算化的实验支持和工具^[43]。平行系统理论在现代矿山管理的应用中,在管理中心采用数据融合、数据挖掘及可视化技术构建一个与现实系统相对应的人工系统,并通过对人工系统的演化实现对现实系统的预测、评估和优化,实现矿山的优化管理^[44]。在城市客运交通枢纽系统应用中,传统的管理方法难以形成具有动态适应能力的有效解决方案,相关研究运用复杂系统研究中的 ACP (人工系统、计算机实验、平行执行)方法,首次给出城市客运交通枢纽平行控制与管理研究框架^[45]。在情报系统的应用中,讨论基于 ACP 方法构造智能情报“激活器”问题,提出基于 ACP 的平行智能情报方法^[46]。在建立人工人口系统的应用中,提出利用人工社会的思想,结合复杂系统的理论和方法,建立相应的人口计算实验手段和人口管理平行系统,主要工作包括人工人口系统的基本框架、计算实验与人口政策的评估、平行系统与人口的控制与管理,以及基本综合集成研讨厅的实现方式^[47]。ACP 方法在军事系统的应用,相关研究讨论了基于平行理论的军事体系的组织和管理问题^[48]。在社会信号处理与分析的应用中,相关研究就社会信号与社会系统建模与管理,社会信号的刻画,社会传感网的构建,计算辩证推理和综合的人工社会、计算实验、平行执行 (ACP) 方法等展开讨论,希望在此基础上进一步开展研究与应用,最终建立面向社会信号的获取、分析、解析和应用的一般框架与方法体系^[49]。

综上,综合集成、ACP 思想方法为处理复杂适应、非线性动力学特征的系统提供了较好的建模思想和方法借鉴。

第2节 不确定性及其表示模型

复杂系统中的事物或概念大多具有不确定性,不确定性表示问题的研究对于复杂系统的发展和关键问题的解决具有至关重要的作用。事物或者概念的不确定性的含义是什么,事物的不确定性包括哪些方面,如何客观地描述事物的不确定性等问题一直是相关研究试图解决的重点。1965 年美国著名控制论专家 L. A. Zadeh 提出的模糊数学,给出了解决不精确问题的模型和方法^[50]。我国学者华中科技大学的邓聚龙教授提出的灰色理论,给出了解决信息不完全情况下问题描述的模型和方法^[51]。描述问题随机性的概率论与数理统计方法,给出了解决随机性、不确定性问题的理论和方法^[52]。我国学者李德毅院士提出了云模型理论,该模型综合描述了既具有模糊性又具有随机性两种不确定性的概念和事物^[53]。陈大为教授提出了综合描述模糊性和灰性的模糊灰色集合论方法^[54]。笔者提出了综合描述灰性与随机性的灰云模型^[55]。这些描述不确定性的理论和方法的共同优点是都从不确定性的某一个或两个层面客观、深入描述了该种不确定性,并给出了一套完整的理论和方法,且都在不断发展和完善之中。这些模型的共同缺点就是

只考虑不确定性的一个或者两个方面，对于其他方法完全忽略，根本避而不谈。这样不是完全客观的方法，因为不确定的各个层面在一个事物中往往是同时存在的。在问题的求解中，需要综合考虑这些方面。单纯地考虑一个层面会造成片面性。现有的方法没有给出综合描述一个事物不确定性的方法。

现实世界中的不确定性是普遍存在的，不确定性包括模糊性、随机性、可能性（概率）、灰性等。模糊性对应事物或概念的类别不清晰而引起的判断上的不确定性，如对于人的年龄阶段，有幼儿、少儿、青年、中年、老年等的划分，而对于一个具体年龄的人应该划分到哪一个年龄阶段，有时却存在不确定性，具体到某一年龄时，该年龄越接近于上述年龄段中的两个年龄段交界，那么引起的判断上的不确定性就越大。随机性表现为事件的亦此亦彼性，这种亦此亦彼性表现为多种可能性，单一过程无法具体预测具体结果，但同时总体可能遵循某一期望值。事件出现的可能性的的大小称为概率。灰性是信息贫乏系统的特征，是一种“外延明确，内涵不明确”的不确定性。

按照不确定性的以上表现，可以将不确定性事件分为模糊事件、随机事件、灰色事件、模糊随机事件、灰色随机事件、模糊灰色随机事件、模糊概率事件、灰色概率事件、模糊随机概率事件等，李德义院士提出的云模型，就是研究其中模糊随机事件的模型，而其他事件的研究模型有待于在云模型的基础上进一步进行深入的研究和拓展。如模糊灰色随机事件的模型，即灰云模型已经得到初步研究。而其他如模糊随机概率事件还没有得到进一步深入研究。

按照不确定性是否可量化的标准来划分，事物属性的可量化程度分为三种基本类型：一种为可量化的，即属性值是可以使用准确的数值来表示的；一种为不可量化的，即属性值是无法使用准确的数值来表示的，又被称为定性的；一种是半定性半定量的。

一、云模型

由中国科学院院士李德义创立的云模型在信息科学、人工智能、数据挖掘、经济与管理、社会科学等领域有着广泛而深入的应用。云模型不仅充分考虑了概念的不确定性，也考虑了概念的随机性。与模糊数学方法相比，具有更大的客观性。以前的相关研究证明了正态分布的普适性，因此正态云模型是在应用中被普遍采用的一种云模型。集合的相关理论为近代科学特别是人工智能的发展奠定了基础。从集合论的角度来研究云模型是一个很好的视角，能够进一步发挥云模型的特点，并促进其在各个科学领域的进一步应用。云模型将模糊数学的隶属度看成是随机的，更符合客观事实，随机隶属度的提出克服了以往模糊数学隶属度主观性的缺点。