



同濟大學 1907-2017  
Tongji University



同濟博士論叢  
TONGJI Dissertation Series

總主編 伍江 副總主編 雷星暉

孫秉珍 馬衛民 著

# 應急管理中不確定決策的 雙論域粗糙集理論與方法研究

Research on the Theory and Methodology  
over Two Universes for Uncertainty  
Decision-making in Emergency Management



同濟大學出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS



总主编 伍江 副总主编 雷星晖

孙秉珍 马卫民 著

# 应急管理中不确定决策的 双论域粗糙集理论与方法研究

Research on the Theory and Methodology  
over Two Universes for Uncertainty  
Decision-making in Emergency Management

 同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

## 内 容 提 要

本书以突发事件中具体的不确定性决策问题为基础研究对象,以双论域粗糙集理论与方法为主要理论工具,从理论分析和实际应用模型两个主要方面展开探讨。本书将双论域粗糙集理论应用于突发事件应急决策问题,具有一定创新性。

本书可供高等院校经济管理专业师生、政府有关决策部门等阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

应急管理中不确定决策的双论域粗糙集理论与方法研究/孙秉珍,马卫民著. —上海:同济大学出版社,2017. 8

(同济博士论丛/伍江总主编)

ISBN 978-7-5608-6957-5

I. ①应… II. ①孙…②马… III. ①集论—应用—应急对策—研究 IV. ①X92②O144

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 093369 号

---

---

## 应急管理中不确定决策的双论域粗糙集理论与方法研究

马卫民 审 孙秉珍 著

出品人 华春荣 责任编辑 陆义群 蒋卓文

责任校对 徐逢乔 封面设计 陈益平

---

出版发行 同济大学出版社 [www.tongjipress.com.cn](http://www.tongjipress.com.cn)

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

排版制作 南京展望文化发展有限公司

印 刷 浙江广育爱多印务有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 10.75

字 数 215 000

版 次 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6957-5

---

定 价 53.00 元

---

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

# “同济博士论丛”编写领导小组

组 长：杨贤金 钟志华

副 组 长：伍 江 江 波

成 员：方守恩 蔡达峰 马锦明 姜富明 吴志强  
徐建平 吕培明 顾祥林 雷星晖

办公室成员：李 兰 华春荣 段存广 姚建中

# “同济博士论丛”编辑委员会

总 主 编：伍 江

副 总 主 编：雷星晖

编委会委员：（按姓氏笔画顺序排列）

丁晓强	万 钢	马卫民	马在田	马秋武	马建新
王 磊	王占山	王华忠	王国建	王洪伟	王雪峰
尤建新	甘礼华	左曙光	石来德	卢永毅	田 阳
白云霞	冯 俊	吕西林	朱合华	朱经浩	任 杰
任 浩	刘 春	刘玉擎	刘滨谊	闫 冰	关侗红
江景波	孙立军	孙继涛	严国泰	严海东	苏 强
李 杰	李 斌	李风亭	李光耀	李宏强	李国正
李国强	李前裕	李振宇	李爱平	李理光	李新贵
李德华	杨 敏	杨东援	杨守业	杨晓光	肖汝诚
吴广明	吴长福	吴庆生	吴志强	吴承照	何晶晶
何敏娟	何清华	汪世龙	汪光焘	沈明荣	宋小冬
张 旭	张亚雷	张庆贺	陈 鸿	陈小鸿	陈义汉
陈飞翔	陈以一	陈世鸣	陈艾荣	陈伟忠	陈志华
邵嘉裕	苗夺谦	林建平	周 苏	周 琪	郑军华
郑时龄	赵 民	赵由才	荆志成	钟再敏	施 骞
施卫星	施建刚	施惠生	祝 建	姚 熹	姚连璧

袁万城 莫天伟 夏四清 顾 明 顾祥林 钱梦騷  
徐 政 徐 鉴 徐立鸿 徐亚伟 凌建明 高乃云  
郭忠印 唐子来 閻耀保 黄一如 黄宏伟 黄茂松  
戚正武 彭正龙 葛耀君 董德存 蒋昌俊 韩传峰  
童小华 曾国荪 楼梦麟 路秉杰 蔡永洁 蔡克峰  
薛 雷 霍佳震

秘书组成员：谢永生 赵泽毓 熊磊丽 胡晗欣 卢元姍 蒋卓文

# 总序

在同济大学 110 周年华诞之际，喜闻“同济博士论丛”将正式出版发行，倍感欣慰。记得在 100 周年校庆时，我曾以《百年同济，大学对社会的承诺》为题作了演讲，如今看到付梓的“同济博士论丛”，我想这就是大学对社会承诺的一种体现。这 110 部学术著作不仅包含了同济大学近 10 年 100 多位优秀博士研究生的学术科研成果，也展现了同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色，向建设世界一流大学的目标迈出的坚实步伐。

坐落于东海之滨的同济大学，历经 110 年历史风云，承古续今、汇聚东西，秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念，发扬自强不息、追求卓越的精神，在复兴中华的征程中同舟共济、砥砺前行，谱写了一幅幅辉煌壮美的篇章。创校至今，同济大学培养了数十万工作在祖国各条战线上的人才，包括人们常提到的贝时璋、李国豪、裘法祖、吴孟超等一批著名教授。正是这些专家学者培养了一代又一代的博士研究生，薪火相传，将同济大学的科学研究和学科建设一步步推向高峰。

大学有其社会责任，她的社会责任就是融入国家的创新体系之中，成为国家创新战略的实践者。党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央高度重视科技创新，对实施创新驱动发展战略作出一系列重大决策部署。党的十八届五中全会把创新发展作为五大发展理念之首，强调创新是引领发展的第一动力，要求充分发挥科技创新在全面创新中的引领作用。要把创新驱动发展作为国家的优先战略，以科技创新为核心带动全面创新，以体制机制改

革激发创新活力,以高效率的创新体系支撑高水平的创新型国家建设。作为人才培养和科技创新的重要平台,大学是国家创新体系的重要组成部分。同济大学理当围绕国家战略目标的实现,作出更大的贡献。

大学的根本任务是培养人才,同济大学走出了一条特色鲜明的道路。无论是本科教育、研究生教育,还是这些年摸索总结出的导师制、人才培养特区,“卓越人才培养”的做法取得了很好的成绩。聚焦创新驱动转型发展战略,同济大学推进科研管理体系改革和重大科研基地平台建设。以贯穿人才培养全过程的一流创新创业教育助力创新驱动发展战略,实现创新创业教育的全覆盖,培养具有一流创新力、组织力和行动力的卓越人才。“同济博士论丛”的出版不仅是对同济大学人才培养成果的集中展示,更将进一步推动同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色、明确大学定位、培养创新人才。

面对新形势、新任务、新挑战,我们必须增强忧患意识,扎根中国大地,朝着建设世界一流大学的目标,深化改革,勠力前行!

万 钢

2017年5月



# 论丛前言

承古续今，汇聚东西，百年同济秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念，注重人才培养、科学研究、社会服务、文化传承创新和国际合作交流，自强不息，追求卓越。特别是近 20 年来，同济大学坚持把论文写在祖国的大地上，各学科都培养了一大批博士优秀人才，发表了数以千计的学术研究论文。这些论文不但反映了同济大学培养人才能力和学术研究的水平，而且也促进了学科的发展和国家的建设。多年来，我一直希望能有机会将我们同济大学的优秀博士论文集中整理，分类出版，让更多的读者获得分享。值此同济大学 110 周年校庆之际，在学校的支持下，“同济博士论丛”得以顺利出版。

“同济博士论丛”的出版组织工作启动于 2016 年 9 月，计划在同济大学 110 周年校庆之际出版 110 部同济大学的优秀博士论文。我们在数千篇博士论文中，聚焦于 2005—2016 年十多年间的优秀博士学位论文 430 余篇，经各院系征询，导师和博士积极响应并同意，遴选出近 170 篇，涵盖了同济的大部分学科：土木工程、城乡规划学(含建筑、风景园林)、海洋科学、交通运输工程、车辆工程、环境科学与工程、数学、材料工程、测绘科学与工程、机械工程、计算机科学与技术、医学、工程管理、哲学等。作为“同济博士论丛”出版工程的开端，在校庆之际首批集中出版 110 余部，其余也将陆续出版。

博士学位论文是反映博士研究生培养质量的重要方面。同济大学一直将立德树人作为根本任务，把培养高素质人才摆在首位，认真探索全面提高博士研究生质量的有效途径和机制。因此，“同济博士论丛”的出版集中展示同济大

学博士研究生培养与科研成果,体现对同济大学学术文化的传承。

“同济博士论丛”作为重要的科研文献资源,系统、全面、具体地反映了同济大学各学科专业前沿领域的科研成果和发展状况。它的出版是扩大传播同济科研成果和学术影响力的重要途径。博士论文的研究对象中不少是“国家自然科学基金”等科研基金资助的项目,具有明确的创新性和学术性,具有极高的学术价值,对我国的经济、文化、社会发展具有一定的理论和实践指导意义。

“同济博士论丛”的出版,将会调动同济广大科研人员的积极性,促进多学科学术交流、加速人才的发掘和人才的成长,有助于提高同济在国内外的竞争力,为实现同济大学扎根中国大地,建设世界一流大学的目标愿景做好基础性工作。

虽然同济已经发展成为一所特色鲜明、具有国际影响力的综合性、研究型大学,但与世界一流大学之间仍然存在着一定差距。“同济博士论丛”所反映的学术水平需要不断提高,同时在很短的时间内编辑出版110余部著作,必然存在一些不足之处,恳请广大学者,特别是有关专家提出批评,为提高同济人才培养质量和同济的学科建设提供宝贵意见。

最后感谢研究生院、出版社以及各院系的协作与支持。希望“同济博士论丛”能持续出版,并借助新媒体以电子书、知识库等多种方式呈现,以期成为展现同济学术成果、服务社会的一个可持续的出版品牌。为继续扎根中国大地,培育卓越英才,建设世界一流大学服务。

伍 江

2017年5月

# 前 言

应急管理是近年来频发的突发事件催生的一个崭新学术研究领域, 应急决策作为应急管理研究中的核心问题已初步形成了多学科交叉、多种决策理论与方法融合的基本研究框架和模式。本书围绕突发事件应急决策中的基本问题, 充分考虑突发事件应急决策的信息不精确、不完备、决策对象特征难以定量刻画等特征, 在系统研究双论域粗糙集理论的基础上建立了几类应急决策问题的不确定性决策模型与方法。本书综述了突发事件应急决策问题的特征以及与传统决策问题的区别, 分析了传统决策理论运用于应急决策问题所面临的困难与不足, 指出把粗糙集理论应用于应急决策问题的可行性及其优势。回顾了突发事件应急决策问题和双论域粗糙集理论的起源与发展并分析对比了国内外研究现状; 介绍了本书所使用的基本概念和方法。在此基础上开展了如下几个方面的研究。

## 1. 基于模糊相容关系的双论域模糊粗糙集及其应急决策模型

针对突发事件发生后第一时间内获取的不精确、不完备信息, 决策者如何迅速地做出尽可能科学的实时应急决策这一问题, 建立了基于模糊相容关系双论域模糊粗糙集的应急决策模型。从理论上系统地研究

了基于模糊相容关系的双论域模糊粗糙集理论。与经典单个论域上的粗糙集理论类似,首先,研究了基于模糊相容关系的双论域粗糙模糊集,讨论了其数学性质及与其他双论域粗糙集的关系;同时在双论域框架下给出了其两种推广的形式:双论域程度粗糙模糊集和双论域变精度粗糙模糊集。其次,考虑到现实管理问题中存在模糊决策对象的情形,定义了基于模糊相容关系的双论域模糊粗糙集,并详细讨论了其数学性质。研究表明:基于模糊相容关系的双论域模糊粗糙集包含了双论域粗糙模糊集及其他各种推广的粗糙模糊集。在此基础上,通过定义突发事件集与突发事件影响因素一般性特征集之间的二元模糊关系,建立了基于相容关系双论域模糊粗糙集的实时应急决策模型;给出了其决策步骤和算法。同时利用一个突发事件实时决策的数值算例阐明了模型的应用过程。

### 2. 应急物资需求预测的双论域模糊粗糙集方法

对于事先并不清楚特定突发事件应急救援物资的需求数量及需求结构的应急物资需求预测问题,建立了基于双论域模糊粗糙集的应急物资需求预测模型。这一模型建立的思想基础是已有关于应急物资需求预测研究的共同假设:拥有相似特征的突发事件具有相似的物资需求数量。依据不精确的决策信息把新发生突发事件用同类突发事件一般性特征集合上的模糊集表示,给出其在双论域模糊近似空间中的粗糙近似,结合经典运筹学中非确定型决策中的风险决策思想和模糊数学中的最大隶属度原理给出其最优决策。这一方法有效地避免了传统预测方法要求大样本数据且同分布,或者由于不同贴近度公式定义所产生预测结果的不一致性问题。

### 3. 双论域直觉模糊粗糙集及应急物资调度决策

系统地研究了双论域上的直觉模糊粗糙集理论并给出了一种基于

双论域直觉模糊粗糙集的不确定决策方法。通过构造性的方法给出了双论域模糊近似空间中直觉模糊集的粗糙近似定义,研究了其数学性质并给出了一种退化的特殊情形:双论域粗糙直觉模糊集,构建了双论域直觉模糊粗糙集的基本理论框架。同时,以现实管理决策中医疗诊断决策为背景给出了一种基于双论域直觉模糊粗糙集的不确定性决策方法。在双论域的框架下给出了突发事件应急物资调度决策问题基本特征的定量描述,进而给出了基于双论域直觉模糊粗糙集的应急物资调度决策方法,通过数值算例说明了其决策过程并验证了相关结论。

#### 4. 双论域概率粗糙集及最优应急预案选择决策

为了使得经典双论域粗糙集模型具有更好的容错和泛化能力,在双论域近似空间引入概率测度进而定义了双论域上的概率粗糙集。讨论了双论域概率粗糙集的参数连续性问题;并把香农(Shannon)信息熵引入双论域概率近似空间,提出了基于覆盖的广义香农熵的概念;给出了双论域概率粗糙集不确定性度量的一种新方法。同时,把经典 Bayesian 决策过程引入双论域近似空间,给出了双论域 Bayesian 风险决策过程。利用双论域 Bayesian 风险决策过程给出了双论域概率粗糙集中阈值参数  $\alpha, \beta$  的语义解释,并建立了两者之间的关系。研究表明:对任意双论域概率粗糙集,必存在与之对应的一类 Bayesian 风险决策问题。在此基础上,给出了一种具有最小风险损失的最优应急预案选择的双论域概率粗糙集模型与方法。该方法克服了传统决策方法在预案评价阶段由于需要专家打分或者方案的两两比较而产生的不一致性问题。同时,充分发挥了决策者在应急实时决策过程中的主体性作用。最后,给出了模型的算法并通过数值算例验证了相关结论。

#### 5. 软模糊粗糙集及应急预案评价模型与方法

把软集理论与经典粗糙集理论相结合,提出了一种新的数学结构:

软模糊粗糙集。研究了软模糊粗糙集的数学性质及与其他粗糙集模型的联系与区别。建立了基于软模糊粗糙集的应急预案评价模型与方法：充分考虑了应急预案评价的基本特征，在软模糊集框架下给出了应急预案的定量描述，借鉴传统 TOPSIS 方法中正负理想点的原理确定了全体待评估预案的最优目标预案和最差目标预案。利用软模糊粗糙集的定义获得了最优目标预案和最差目标预案关于软模糊近似空间(或软模糊信息系统)  $(U, E, \bar{F}^{-1})$  的上、下近似；通过定义软贴近度的概念给出了每个应急预案的得分函数；进而依据得分函数给出全体应急预案的综合排序。最后，给出了模型的算法和模拟数值算例，说明了模型的应用过程。

除了取得上述进展外，本书还指出了双论域粗糙集理论及基于双论域粗糙集的应急决策理论与方法一些值得进一步研究的前沿内容和方向。

本书作者的有关研究得到国家自然科学基金项目(71571090)的资助。在此特向国家自然科学基金委员会表示感谢。

# 目 录

总序

论丛前言

前言

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究意义 .....	4
1.3 突发事件及其决策特征 .....	6
1.3.1 突发事件的特征 .....	6
1.3.2 突发事件应急决策的特征 .....	8
1.3.3 基于传统决策理论的应急决策方法局限性分析 .....	11
1.4 国内外研究现状 .....	12
1.4.1 决策理论研究现状 .....	12
1.4.2 突发事件应急决策研究现状 .....	14
1.4.3 双论域粗糙集研究现状 .....	20
1.5 研究目标和内容 .....	22
1.5.1 研究目标 .....	22

1.5.2	研究内容和结构 .....	23
1.6	预备知识 .....	25
1.6.1	模糊集 .....	26
1.6.2	直觉模糊集 .....	28
1.6.3	Pawlak 粗糙集 .....	29
1.6.4	变精度粗糙集 .....	31
1.6.5	概率粗糙集 .....	32
1.6.6	模糊粗糙集 .....	34
1.6.7	双论域粗糙集 .....	36
<b>第 2 章</b>	<b>双论域相容模糊粗糙集及实时应急决策 .....</b>	<b>38</b>
2.1	引言 .....	38
2.2	基于模糊相容关系的双论域粗糙模糊集 .....	40
2.2.1	基于模糊相容关系的双论域粗糙模糊集 .....	40
2.2.2	双论域程度粗糙模糊集 .....	46
2.2.3	双论域变精度粗糙模糊集 .....	48
2.3	基于模糊相容关系的双论域模糊粗糙集 .....	50
2.4	基于模糊相容关系双论域模糊粗糙集的应急决策模型与方法 .....	52
2.4.1	模型建立 .....	52
2.4.2	应用算例 .....	55
2.5	本章小结 .....	58
<b>第 3 章</b>	<b>双论域模糊粗糙集及应急物资需求预测 .....</b>	<b>59</b>
3.1	引言 .....	59
3.2	双论域模糊粗糙集 .....	60



3.3	基于双论域模糊粗糙集的应急物资需求预测 .....	62
3.3.1	基本思想 .....	62
3.3.2	模型建立 .....	63
3.3.3	模型算法 .....	65
3.3.4	数值算例 .....	66
3.4	本章小结 .....	69
<b>第4章</b>	<b>双论域直觉模糊粗糙集及应急物资调度决策 .....</b>	<b>71</b>
4.1	引言 .....	71
4.2	双论域直觉模糊粗糙集 .....	72
4.3	基于双论域直觉模糊粗糙集的不确定决策方法 .....	77
4.3.1	问题描述 .....	78
4.3.2	模型与算法 .....	78
4.4	应急物资调度的双论域直觉模糊粗糙集方法 .....	81
4.5	本章小结 .....	86
<b>第5章</b>	<b>双论域概率粗糙集及最优应急预案选择 .....</b>	<b>88</b>
5.1	引言 .....	88
5.2	双论域概率粗糙集 .....	90
5.2.1	双论域概率粗糙集模型 .....	90
5.2.2	双论域概率粗糙集的不确定性度量 .....	93
5.2.3	双论域 Bayesian 风险决策过程 .....	99
5.2.4	双论域概率粗糙集与 Bayesian 风险决策的关系 .....	101
5.3	基于双论域概率粗糙集的最优应急预案选择决策 .....	105
5.3.1	问题描述 .....	105
5.3.2	模型与算法 .....	106