



“十二五”国家重点图书出版规划项目

公共安全应急管理丛书

面向突发事件的 复杂系统应急决策方法

刘 奕 王刚桥 苑盛成 张 辉◎著



科学出版社



“十二五”国家重点图书出版规划项目



公共安全应急管理丛书

面向突发事件的 复杂系统应急决策方法

刘 奕 王刚桥 苑盛成 张 辉◎著



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了作者对突发事件应急决策理论与方法的研究和思考,包括:具有典型复杂系统特征的突发事件应急决策问题与常规决策问题在问题结构与类型、决策目标和约束条件等多方面的差异,以动态锚定、有效策略、底线原则三准则为核心的应急决策理论与决策范式,数据模型混合驱动的情景计算方法。以区域紧急疏散问题为例,介绍了基于情景计算的仿真系统的架构设计、建模方法、可视化交互和系统实现,给出了应急决策范式的应用示例。

本书可作为公共安全领域研究人员的学术参考,也可作为公共安全领域研究生的学习参考书,亦可作为政府部门及大型企业的相关工作人员的工作参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

面向突发事件的复杂系统应急决策方法 / 刘奕等著. —北京:科学出版社, 2017.9

(公共安全应急管理丛书)

“十二五”国家重点图书出版规划项目 国家出版基金项目

ISBN 978-7-03-054288-5

I. ①面… II. ①刘… III. ①突发事件-应急系统-决策方法
IV. ①D035.29

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第213361号

责任编辑:马 跃 李 莉 / 责任校对:王 瑞

责任印制:霍 兵 / 封面设计:无极书装

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年9月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2018年1月第二次印刷 印张:13

字数:250 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

丛书编委会

主 编

范维澄 教 授 清华大学

郭重庆 教 授 同济大学

副主编

吴启迪 教 授 国家自然科学基金委员会管理科学部

闪淳昌 教授级高工 国家安全生产监督管理局

编 委 (按姓氏拼音排序)

曹河圻 研究员 国家自然科学基金委员会医学科学部

邓云峰 研究员 国家行政学院

杜兰萍 副局长 公安部消防局

高自友 教 授 国家自然科学基金委员会管理科学部

李湖生 研究员 中国安全生产科学研究院

李仰哲 局 长 国家发展和改革委员会经济运行调节局

李一军 教 授 国家自然科学基金委员会管理科学部

刘 克 研究员 国家自然科学基金委员会信息科学部

刘 奕 副教授 清华大学

刘铁民 研究员 中国安全生产科学研究院

陆俊华 副省长 海南省人民政府

孟小峰 教 授 中国人民大学

邱晓刚 教 授 国防科技大学

汪寿阳 研究员 中国科学院数学与系统科学研究院

王 垒 教 授 北京大学

王 宇 研究员 中国疾病预防控制中心

王飞跃 研究员 中国科学院自动化研究所

王岐东	研究员	国家自然科学基金委员会计划局
翁文国	教授	清华大学
吴刚	研究员	国家自然科学基金委员会管理科学部
杨列勋	研究员	国家自然科学基金委员会管理科学部
于景元	研究员	中国航天科技集团 710 所
张辉	教授	清华大学
张维	教授	天津大学
周晓林	教授	北京大学
邹铭	副部长	民政部

总 序

自美国“9·11”事件以来，国际社会对公共安全与应急管理的重视度迅速提升，各国政府、公众和专家学者都在重新思考如何应对突发事件的问题。当今世界，各种各样的突发事件越来越呈现出频繁发生、程度加剧、复杂复合等特点，给人类的安全和社会的稳定带来更大挑战。美国政府已将单纯的反恐战略提升到针对更广泛的突发事件应急管理的公共安全战略层面，美国国土安全部 2002 年发布的《国土安全国家战略》中将突发事件应对作为六个关键任务之一。欧盟委员会 2006 年通过了主题为“更好的世界，安全的欧洲”的欧盟安全战略并制订和实施了“欧洲安全研究计划”。我国的公共安全与应急管理自 2003 年抗击非典后受到从未有过的关注和重视。2006 年和 2007 年，我国相继颁布实施了《国家突发公共事件总体应急预案》和《中华人民共和国突发事件应对法》，并在各个领域颁布了一系列有关公共安全与应急管理的政策性文件。2014 年，我国正式成立“中央国家安全委员会”，习近平总书记担任委员会主席。2015 年 5 月 29 日中共中央政治局就健全公共安全体系进行第二十三次集体学习。中共中央总书记习近平在主持学习时强调，公共安全连着千家万户，确保公共安全事关人民群众生命财产安全，事关改革发展稳定大局。这一系列举措，标志着我国对安全问题的重视程度提升到一个新的战略高度。

在科学研究领域，公共安全与应急管理研究的广度和深度迅速拓展，并在世界范围内得到高度重视。美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)资助的跨学科计划中，有五个与公共安全和应急管理有关，包括：①社会行为动力学；②人与自然耦合系统动力学；③爆炸探测预测前沿方法；④核探测技术；⑤支持国家安全的信息技术。欧盟框架计划第 5~7 期中均设有公共安全与应急管理的项目研究计划，如第 5 期(FP5)——人为与自然灾害的安全与应急管理，第 6 期(FP6)——开放型应急管理系统、面向风险管理的开放型空间数据系统、欧洲应急管理信息体系，第 7 期(FP7)——把安全作为一个独立领域。我国在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》中首次把公共安全列为科技发展的 11 个重点领域之一；《国家自然科学基金“十一五”发展

规划》把“社会系统与重大工程系统的危机/灾害控制”纳入优先发展领域；国务院办公厅先后出台了《“十一五”期间国家突发公共事件应急体系建设规划》、《国家突发事件应急体系建设“十二五”规划》、《国家综合防灾减灾规划（2011—2015年）》和《关于加快应急产业发展的意见》等。在863、973等相关科技计划中也设立了一批公共安全领域的重大项目和优先资助方向。

针对国家公共安全与应急管理的重大需求和前沿基础科学研究的需求，国家自然科学基金委员会于2009年启动了“非常规突发事件应急管理研究”重大研究计划，遵循“有限目标、稳定支持、集成升华、跨越发展”的总体思路，围绕应急管理中的重大战略领域和方向开展创新性研究，通过顶层设计，着力凝练科学目标，积极促进学科交叉，培养创新人才。针对应急管理科学问题的多学科交叉特点，如应急决策研究中的信息融合、传播、分析处理等，以及应急决策和执行中的知识发现、非理性问题、行为偏差等涉及管理科学、信息科学、心理科学等多个学科的研究领域，重大研究计划在项目组织上加强若干关键问题的深入研究和集成，致力于实现应急管理若干重点领域和重要方向的跨域发展，提升我国应急管理基础研究原始创新能力，为我国应急管理实践提供科学支撑。重大研究计划自启动以来，已立项支持各类项目八十余项，稳定支持了一批来自不同学科、具有创新意识、思维活跃并立足于我国公共安全与应急管理领域的优秀科研队伍。百余所高校和科研院所参与了项目研究，培养了一批高水平研究力量，十余位科研人员获得国家自然科学基金“国家杰出青年科学基金”的资助及教育部“长江学者”特聘教授称号。在重大研究计划支持下，百余篇优秀学术论文发表在SCI/SSCI收录的管理、信息、心理领域的顶尖期刊上，在国内外知名出版社出版学术专著数十部，申请专利、登记软件著作权、制定标准规范等共计几十项。研究成果获得多项国家级和省部级科技奖。依托项目研究成果提出的十余项政策建议得到包括国务院总理等国家领导人的批示和多个政府部门的重视。研究成果直接应用于国家、部门、省市近十个“十二五”应急体系规划的制定。公共安全与应急管理基础研究的成果也直接推动了相关技术的研发，科技部在“十三五”重点专项中设立了公共安全方向，基础研究的相关成果为其提供了坚实的基础。

重大研究计划的启动和持续资助推动了我国公共安全与应急管理的学科建设，推动了“安全科学与工程”一级学科的设立，该一级学科下设有“安全与应急管理”二级学科。2012年公共安全领域的一级学会“公共安全科学技术学会”正式成立，为公共安全领域的科研和教育提供了更广阔的平台。在重大研究计划执行期间，还组织了多次大型国际学术会议，积极参与国际交流合作。在世界卫生组织的应急系统规划设计的招标中，我国学者组成的团队在与英、美等国家的技术团队的竞争中胜出，与世界卫生组织在应急系统的标准、设计等方面开展了密切合作。我国学者在应急平台方面的研究成果还应用于多个国家，取得了良好

的国际声誉。各类国际学术活动的开展,极大地提高了我国公共安全与应急管理在国际学术界的声望。

为了更广泛地和广大科研人员、应急管理工作以及关心、关注公共安全与应急管理问题的公众分享重大研究计划的研究成果,在国家自然科学基金委员会管理科学部的支持下,由科学出版社将优秀研究成果以丛书的方式汇集出版,希望能为公共安全与应急管理领域的研究和探索提供更有力的支持,并能广泛应用到实际工作中。

为了更好地汇集公共安全与应急管理的最新研究成果,本套丛书将以滚动的方式出版,紧跟研究前沿,力争把不同学科领域的学者在公共安全与应急管理研究上的集体智慧以最高效的方式呈现给读者。

重大研究计划指导专家组

前 言

现代文明是由人类与自然组成的耦合系统,呈现出复杂巨系统的典型特征。越复杂的系统往往越脆弱,近年来频发的非常规突发事件更突显出现代社会对突发事件应急决策支持科学研究的迫切需求。

突发事件具有典型的复杂系统特征,突出表现为高度的动态不确定性,包括系统的结构与内在规律的动态性,以及系统状态与状态发展方向的随机性和不确定性。应急决策过程需要同时面对系统复杂性和时间紧迫性的双重约束,极具挑战。

本书重点讨论了面向突发事件的复杂系统应急决策的理论、方法和决策范式;分析了具有典型复杂系统特征的突发事件应急决策问题与常规决策问题在问题结构与类型、决策目标和约束条件等多方面的差异;提出了以动态锚定、有效策略、底线原则三准则为核心的应急决策理论与决策范式,提出了数据模型混合驱动的情景计算方法。以突发事件下的区域紧急交通疏散问题为例,介绍了基于情景计算的仿真系统的架构设计、建模方法、可视化交互及系统实现等,并给出了基于情景计算的应急决策范式应用示例。

本书内容分为三篇共 8 章,第一篇方法篇,包括第 1、2 章,重点介绍面向突发事件的复杂系统应急决策范式 and 情景计算方法;第二篇系统篇,包括第 3~6 章,以区域紧急交通疏散问题为例,重点介绍基于情景计算的仿真系统的架构设计、建模方法、可视化交互及系统实现;第三篇应用篇,包括第 7、8 章,重点介绍基于情景计算与仿真的决策支持应用示例。本书由清华大学公共安全研究院的教师和博士研究生合作完成,其中第 1、2 章由刘奕和王刚桥合作撰写,第 3~6 章由苑盛成、刘奕、张辉合作撰写,第 7 章由余水平和苑盛成合作撰写,第 8 章由苑盛成和王刚桥合作撰写。全书在编排上注重需求导向,理论方法与实践应用并重。从突发事件的应急实践和需求出发,提出存在的问题和亟待开展的科学研究,介绍跨学科的理论与方法,结合实际问题对理论方法的应用做出说明示例,使读者更容易理解。

本书的构思和完成得到国家自然科学基金“非常规突发事件应急管理研究”重大研究计划培育项目(No.91324022)和集成项目(No.91224008、No.91024032)

的支持，也是作者在相关方向的国家自然科学基金（No.71673158、No.91646101 和 No.91646201）的研究基础上的延续和拓展。

书中或有不妥之处，恳请广大读者批评指正。愿借本书为我国公共安全与应急科技的发展做出微薄贡献！

目 录

第一篇 方 法 篇

第 1 章 绪论	3
1.1 复杂系统与突发事件	3
1.2 突发事件的应急决策方法	11
1.3 突发事件中的典型复杂系统——应急交通疏散	18
1.4 本书的内容及结构	21
第 2 章 面向突发事件的复杂系统应急决策范式	26
2.1 引言	26
2.2 常规决策流程	27
2.3 应急决策流程与挑战	28
2.4 面向突发事件的情景计算方法	31
2.5 面向突发事件的应急决策框架	37
2.6 面向突发事件的应急决策准则	38
2.7 基于情景计算的应急决策支持系统架构	43
2.8 本章小结	45

第二篇 系 统 篇

第 3 章 基于 Agent 的实体建模	49
3.1 引言	49
3.2 多主体系统	50
3.3 交通疏散系统中的主体	53
3.4 疏散环境	55
3.5 主体定义	56
3.6 主体属性和空间状态	59
3.7 本章小结	64

第 4 章 基于 Agent 的微观行为建模	66
4.1 引言	66
4.2 疏散中的 Agent 微观行为建模	67
4.3 现有交通仿真模型综述	68
4.4 运动类行为模型建模	76
4.5 个体决策行为	90
4.6 多样性疏散行为模型	92
4.7 本章小结	94
第 5 章 面向应急的仿真系统架构设计	101
5.1 引言	101
5.2 交通疏散仿真系统总体架构设计	102
5.3 地理信息模块	104
5.4 主体模块	110
5.5 行为模块	112
5.6 任务模块	119
5.7 集成模块	124
第 6 章 Agent 群协同管理	126
6.1 引言	126
6.2 生命周期管理器	126
6.3 通信管理器	127
6.4 事件管理器	128
6.5 运动管理器	130
6.6 数据采集器	131
6.7 本章小结	132

第三篇 应 用 篇

第 7 章 数据模型混合驱动的情景计算方法	135
7.1 引言	135
7.2 数据获取实验	136
7.3 多样驾驶行为的参数标定实验	146
7.4 疏散仿真情景多样性实验	151
第 8 章 基于仿真的决策支持和应用	153
8.1 引言	153
8.2 交通疏散的决策内容需求	154

8.3 应急管理 with 大规模人员疏散	154
8.4 交通疏散决策	155
8.5 仿真系统测试	161
8.6 模型对比验证	174
8.7 大规模疏散仿真应用和决策支持实验	177
8.8 本章小结	187

第一篇 方 法 篇

第 1 章

绪 论

1.1 复杂系统与突发事件

1.1.1 复杂系统概述

关于复杂系统 (complex system), 目前没有严格的定义和统一的观点。社会生活中存在大量的复杂系统范畴的问题与现象。例如, 人类是如何组织产生人类社会的? 鸟类是如何聚集成群的? 蚂蚁、蜜蜂是如何形成分工明确、等级森严的王国的? 为什么纽约股票市场的暴跌会导致亚洲, 甚至全球经济波动? 为什么日本福岛核泄漏会导致中国发生抢盐事件? 这些问题都具有复杂系统特征^[1]。

复杂系统是复杂性与系统研究的主要对象之一, 被许多科学家称为“21 世纪的科学”^[2]。相关研究给出了复杂系统的描述性定义: 复杂系统是指具有中等数目且基于局部信息做出行动的智能性、自适应性主体 (agent) 的系统。概括地说, 复杂系统具有秩序与混沌的双重特点。首先, 它有一定的秩序。一个复杂性系统不管表现出如何复杂的行为, 它总是有着潜在的秩序, 尽管有时它们可能不为人知。秩序性的特点意味着复杂系统是可以被把握、描述的。其次, 复杂性系统还具有混沌的特点: 一个复杂系统的复杂行为是由许多独立的甚至相当简单的单元的相互作用形成的。每个复杂系统都具有某种动力, 这种动力使最简单的、底层的规则产生出极其复杂的行为。演化、涌现、自组织、自适应等都是复杂系统的典型表现。复杂系统的研究面临许多挑战, 完全精确地、全过程地预测复杂系统的行为十分困难。传统自上而下的分解分析方法曾经在几千年的科学发展中发挥

了威力,然而却无法适用于复杂系统的研究。复杂性系统及其相关问题的科学研究,具有自身的基本原理^[3]。

(1) 整体性原理。由于复杂系统是非线性系统,传统的叠加原理失效,因此,不能采用把研究对象分成若干个小系统分别进行研究,然后进行叠加的办法,而只能从总体上把握整个系统的行为与规律。这一点也很符合系统科学的思想。

(2) 动态性原理。复杂系统必然是动态系统,即与时间变量有关的系统。没有时间的变化,就没有系统的演化,也就谈不上复杂性规律。因为“事物总是发展变化的”。

(3) 宏观与微观相统一原理。复杂性科学认为,系统的宏观变量大的波动可能来自于组成系统的一些元素的小变化。因此,为了探讨复杂系统宏观变量的变化规律,必须研究它的微观机制。但由于非线性机制的作用,又不能将系统进行分解,必须将宏观与微观相统一。

(4) 确定性与随机性相统一原理。复杂性科学理论表明:一个确定性的系统中可以出现类似于随机的行为过程,它是系统“内在”随机性的一种表现,与具有外在随机项的非线性系统的不规则结果有着本质差别。对于确定性的系统而言,结构是确定的,可以比较精确地预测短期行为,而长期行为却不规则,初始条件的微小变化可能会导致系统的运行轨迹出现巨大的偏差。而对于具有外在随机项的非线性系统,系统的演化规则每时每刻都不确定,因此无论是长期行为还是短期行为都无法界定。

复杂系统的研究是一门方兴未艾的交叉学科,美国圣菲研究所(Santa Fe Institute)的首任所长柯文,我国的钱学森、于景元、戴汝为等学者都充分肯定了复杂系统研究的潜力与意义。复杂系统研究是人类认识自然与社会问题的需求,已经延伸到经济学、生态学与管理学等广阔的研究范畴^[4]。

1.1.2 复杂系统对决策理论的影响

进入 20 世纪以后,不仅是自然科学和工程技术遇到大量新的难题,社会、经济和政治领域也遇到大量新的难题,包括区域性、全球性的问题,如军事、文化冲突与灾害处置。在社会不断耦合、复杂化的大环境下,人们发现所关注和面临的问题已经与以前大不一样了。既有决策问题的结构从结构性向半结构性、完全非结构性发展,也有问题向难题、议题和堆题方向发展。从复杂性的角度讲,原来的简单问题系统已经转变为复杂系统。与此同时,这种转变客观上呼唤新的决策思维、理论、方法与技术手段,来辅助复杂系统问题的解决^[5]。

复杂系统引发了决策的复杂性。从决策概念与决策问题两个维度,可以清晰地发现这个改变。