

国家自然科学基金青年科学基金项目 (71403204) 资助

国家自然科学基金面上项目 (71271169, 71273208) 资助

高等学校博士学科点专项科研基金项目 (20126121110004, 20116121110002) 资助

陕西省社会科学基金项目 (13Q159) 资助

陕西省教育厅科学研究计划项目 (12JK0036) 资助

西安科技大学博士启动基金项目 (2012QDJ001) 资助

西安科技大学哲学社会科学繁荣发展计划项目 (2013SY02) 资助

# 非常规突发事件 应急决策 理论与方法研究

袁晓芳 李红霞 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家自然科学基金青年科学基金项目(71403204)资助

国家自然科学基金面上项目(71271169,71273208)资助

高等学校博士学科点专项科研基金项目(20126121110004,20116121110002)资助

陕西省社会科学基金项目(13Q159)资助

陕西省教育厅科学研究计划项目(12JK0036)资助

西安科技大学博士启动基金项目(2012QDJ001)资助

西安科技大学哲学社会科学繁荣发展计划项目(2013SY02)资助

# 非常规突发事件 应急决策理论与方法研究

袁晓芳 李红霞 著

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

针对非常规突发事件应急决策的“情景-依赖”型,基于非常规突发事件系统特征与应急决策机理分析,将情景分析法与案例推理技术相结合,研究了“情景-应对”型非常规突发事件应急决策理论与方法。首先,基于熵理论和耗散结构理论建立了非常规突发事件熵态的系统动力学模型,并运用燕尾突变的分歧点集和三维平衡曲面图分析其发生与控制机理,建立了基于三角形模糊数与突变理论的评价预警模型;然后,基于PSR模型研究了非常规突发事件的“压力-状态-响应”情景知识表示结构,并基于贝叶斯网络和D-S证据合成理论构建了非常规突发事件情景分析网络与推演模型;引入结构相似度计算和基于云模型的启发式权重获取算法来改进CBR的情景检索算法,进而研究了基于情景检索的非常规突发事件案例推理应急决策方法;最后,基于MAS理论构建了非常规突发事件智能决策平台框架,对各Agent部件的功能结构与协作运行机制进行设计,充分发挥了情景分析与案例推理的优势,为实现“情景-应对”型非常规突发事件应急决策模式提供了新的途径。

本书可作为应急管理、安全科学与工程、管理科学与工程、安全管理及相关领域的科研人员和工程技术人员参考使用,亦可作为普通高校相关专业研究生的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

非常规突发事件应急决策理论与方法研究/袁晓芳,  
李红霞著. —徐州:中国矿业大学出版社,2014.9  
ISBN 978-7-5646-2472-9

I. ①非… II. ①袁…②李… III. ①突发事件—应急  
对策—研究 IV. ①X4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第210557号

书 名 非常规突发事件应急决策理论与方法研究  
著 者 袁晓芳 李红霞  
责任编辑 黄本斌  
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司  
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)  
营销热线 (0516)83885307 83884995  
出版服务 (0516)83885767 83884920  
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com  
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司  
开 本 787×1092 1/16 印张 11.75 字数 230千字  
版次印次 2014年9月第1版 2014年9月第1次印刷  
定 价 30.00元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 前 言

非常规突发事件具有明显的罕见性和不可预测性,高度的衍生性和连锁动态性,典型的灾难性与不可控制性,以及严重的社会恐慌和危机性等“非常规”特征,给政府应急决策与管理带来很大的困难,无法基于现有的知识和以往的经验进行预测和超前准备,传统的“预测-应对”型危机管理模式已不能很好地适应非常规突发事件应急管理的需求。本书在非常规突发事件系统特征与应急决策机理分析的基础上,将情景分析法与案例推理技术相结合,研究了“情景-应对”型非常规突发事件应急决策的关键技术。主要研究内容与成果如下:

首先,对非常规突发事件进行界定与特征分析,构建基于熵原理与耗散结构理论的非常规突发事件系统动力学模型,分析事件发生与应急管理过程中的熵态变化情况;进而分析非常规突发事件应急决策的时态框架与机理,并以2010年我国大连输油管道爆炸事件为例,对具体的原则性、原理性、流程性和操作性机理进行分析与阐述。研究表明:非常规突发事件是由增熵因素 $ZS$ 、负熵因素 $FS$ 和系统承载能力 $C$ 三者共同作用组成的动态系统;非常规突发事件的预警与应急管理必须强化负熵因子、控制增熵因子,使系统形成一个良好的耗散结构,尽量处于有序平衡区域和理想稳定区域。

其次,根据建立的非常规突发事件系统熵态的动力学方程,推导出事故灾难型非常规突发事件的燕尾突变模型;以燕尾突变的分歧点集和三维平衡曲面图分析事件的发生与控制机理,以及熵态突变过程中的突跳性、滞后性、多模态、多径性等现象,表明突变理论能够很好地解释非常规突发事件的发生与控制机理;进而提出基于三角形模糊数理论的非常规突发事件的突变评价预警模型。以某油库的评价预警为例,对该方法进行验证,预警结果与该油库实际情况基本一致,并且对不同类型决策者( $\lambda, a$ 取不同值时)的预警结果进行稳定性分析,证明该方法具有较好的合理性和科学性。

第三,通过非常规突发事件情景的界定和演变规律分析,确定情景分析的主要内容为情景知识表示、情景网络构建和情景推演;基于PSR模型研究了非常规突发事件的“压力-状态-响应”情景知识表示结构;基于贝叶斯网络和D-S证据合成理论构建了非常规突发事件情景分析网络与推演模型。以采掘工作面发生的重大和特别重大煤矿瓦斯爆炸事故为例,对该情景分析与推演模型进行验证,可为事故的应急决策与救援提供更加充分的信息依据,推演结果与现实情况一致性较好。该方法能够对事件演变过程中的情景知识进行全面表示,实现了

定性与定量相结合的情景推演过程。

第四,研究基于情景检索的非常规突发事件案例推理应急决策方法,通过计算情景推演案例输出结果与具体实例间的相似度,对改进的情景检索算法进行验证。结果表明:引入结构相似度计算和基于云模型的启发式权重获取算法来改进传统的最近相邻检索算法,能够有效地提高情景检索的准确性。然后,将情景分析和案例推理相结合,基于 MAS 理论构建了非常规突发事件智能决策平台框架,对各 Agent 部件的功能结构与协作运行机制进行设计,为“情景-应对”型非常规突发事件应急决策模式的实现提供了依据。

本书仅对“情景-应对”型非常规突发事件应急决策理论与方法进行了初步研究,希望能够丰富和扩展非常规突发事件发生机理与预警方法的研究,促进突发事件情景推演技术的发展,推动“情景-应对”型非常规突发事件应急决策模式的实现,对非常规突发事件的防治起到一定的借鉴作用。全书共分 7 章,第 1 章对选题背景和国内外研究现状进行综述,提出本书的研究出发点、主要内容和目标,是全书的铺垫;第 2 章对非常规突发事件系统特征与应急决策机理进行分析,得出非常规突发事件应急决策工作的关键内容和关键技术;第 3 章对非常规突发事件的燕尾突变模型与预警方法进行研究;第 4 章基于 PSR 与贝叶斯网络理论研究了非常规突发事件情景推演模型;第 5 章研究了基于情景检索的非常规突发事件案例推理应急决策方法;第 6 章结合情景分析与案例推理研究了基于多智能体系统的“情景-应对”型应急决策模式;第 7 章对全书所做的工作及研究进行总结,并提出今后研究的展望。李红霞教授对全书进行了技术指导与内容规划,并撰写了本书的第 1 章第 1 节和第 2 章第 1 节,其余章节均由袁晓芳撰写。

本书的研究得到了国家自然科学基金青年科学基金项目(71403204)、国家自然科学基金面上项目(71271169,71273208)、高等学校博士学科点专项科研基金项目(20126121110004,20116121110002)、陕西省社会科学基金项目(13Q159)、陕西省教育厅科学研究计划项目(12JK0036)、西安科技大学博士启动基金项目(2012QDJ001)、西安科技大学哲学社会科学繁荣发展计划项目(2013SY02)的资助,特此向支持作者研究工作的所有单位表示衷心的感谢;感谢西安科技大学安全管理研究所全体成员的帮助与支持,感谢你们在工作、生活中无微不至的关心和爱护;感谢作者的朋友和同仁的帮助和支持;感谢出版社同仁为本书出版付出的辛勤劳动。书中部分内容参考借鉴了相关学者的研究成果,均已在参考文献中列出,在此一并致谢。

鉴于作者的学识水平和实践能力有限,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作者

2014 年 4 月

## 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 选题背景及研究意义 .....	1
1.2 国内外研究现状 .....	3
1.3 研究内容与技术路线 .....	24
<b>2 非常规突发事件系统特征与应急决策机理分析</b> .....	27
2.1 非常规突发事件的界定与特征分析 .....	27
2.2 基于熵理论的非常规突发事件系统动力学模型 .....	36
2.3 非常规突发事件应急决策的系统结构与时态框架 .....	43
2.4 非常规突发事件应急决策的机理分析 .....	46
2.5 非常规突发事件应急决策的关键内容 .....	55
2.6 小结 .....	56
<b>3 非常规突发事件的燕尾突变模型与预警方法研究</b> .....	58
3.1 突变理论概述 .....	58
3.2 非常规突发事件的燕尾突变模型 .....	61
3.3 基于突变理论的非常规突发事件预警方法 .....	72
3.4 小结 .....	82
<b>4 基于 PSR 与贝叶斯网络的非常规突发事件情景推演模型</b> .....	83
4.1 非常规突发事件应急决策中情景的界定与演变规律分析 .....	83
4.2 非常规突发事件情景分析的内容与前提 .....	85
4.3 基于 PSR 模型的非常规突发事件情景知识表示 .....	88
4.4 非常规突发事件情景的贝叶斯网络构建与推演 .....	92
4.5 实例应用 .....	98
4.6 小结 .....	110
<b>5 基于情景检索的非常规突发事件案例推理应急决策方法研究</b> .....	112
5.1 案例推理的概述 .....	112
5.2 基于情景检索的非常规突发事件案例推理应急决策流程 .....	115
5.3 以情景为叶结点的非常规突发事件案例组织与表示 .....	116
5.4 非常规突发事件的情景检索算法 .....	121

5.5	小结 .....	138
<b>6</b>	<b>基于 MAS 的“情景-应对”型应急决策模式研究 .....</b>	<b>140</b>
6.1	“情景-应对”型非常规突发事件智能决策平台的需求分析 .....	140
6.2	基于 MAS 的“情景-应对”型智能决策平台的构建 .....	143
6.3	基于 MAS 的“情景-应对”型应急决策模式的运行机制 .....	153
6.4	小结 .....	156
<b>7</b>	<b>结论 .....</b>	<b>157</b>
7.1	主要工作与结论 .....	157
7.2	创新点 .....	159
7.3	展望 .....	160
<b>附录</b>	<b>采掘工作面发生的重大或特别重大煤矿瓦斯事故情景分析节点 条件概率数据调查问卷 .....</b>	<b>161</b>
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>166</b>

# 1 绪 论

## 1.1 选题背景及研究意义

### 1.1.1 选题背景

近年来,随着社会发展和自然环境的不断变化,非常规突发事件(unconventional emergency)无情地进入了人们的视野,其在世界各国的发生频率和规模都在不断提高和扩大,严重地影响了经济发展、社会稳定和生态健康。同时,由于社会系统组织程度不断增加,不同社会子系统间的关联度和依赖性日益加强,局部性和常规性的突发事件愈来愈容易演变成为具有严重影响和危害的非常规突发事件。例如,2001年美国“9·11”恐怖袭击事件;2003年SARS的首次出现和蔓延;2004年印度洋地震海啸;2005年人感染禽流感的首次出现和发作;2006年美国卡特里娜飓风产生的社会震动;2008年我国南方雨雪冰冻的广泛影响、汶川特大地震及其后续影响、“三鹿”奶粉事件产生的社会冲击,以及美国次贷危机引发的全球金融风暴;2009年澳大利亚维多利亚州的山火灾害、菲律宾热带风暴引发的大洪水、我国大部分地区的大雪灾害及新疆乌鲁木齐“7·5”打砸抢烧严重暴力犯罪事件;2010年海地地震及灾后严重的疫情、智利地震海啸及引发的灾民哄抢物资、柬埔寨踩踏事件、墨西哥湾的原油泄漏、我国大连输油管道爆炸事件;2011年日本特大地震海啸及引发的核辐射泄漏事件、我国“甬温”线发生的特大动车追尾事故;2014年马航客机失联事件、我国昆明火车站暴恐案等一系列非常规突发事件的发生,都造成了难以估量的损失及负面影响。

面对非常规突发事件对经济、社会系统承载能力的考验,以及对政府应急决策水平的挑战,系统、深入地研究非常规突发事件的发生、发展、演化机理和应急决策方法,构建适合我国国情的非常规突发事件应急决策模式与应急管理体制,有效应对非常规突发事件,在尽可能短的时间内控制事态、降低损失,并对以后类似事件的发生做出预警防范,是目前学术界和政府面临的紧迫任务。

2008年国家自然科学基金委员会启动实施重大研究计划“非常规突发事件应急管理研究”,明确指出非常规突发事件是指前兆不充分,具有明显的复杂性特征和潜在次生衍生危害,破坏性严重,采用常规管理方式难以应对处置的突发



事件<sup>[1]</sup>。与常规的灾害或者危机相比,非常规突发事件所具有的明显的罕见性、动态性、复杂性、不确定性、不可预测性、不可控制性以及严重的社会恐慌和危机性等非常规特征,使得对其应急决策过程存在如下难题:① 面对非常规突发事件,决策者的反应时间非常有限,应急决策与管理过程具有很强的紧迫性;② 人类很少了解此类事件的演化规律,很难将其纳入常规的管理范围,其应急决策与管理具有非传统性;③ 由于信息缺失、信息不完全等特征,使得非常规突发事件发展过程中的后续衍生状况具有高度的不确定性,且事件处于不断的连锁动态变化中,使得其应急决策与管理具有很强的复杂性。显然,采用传统的“预测-应对”型危机管理模式已不能很好地适应非常规突发事件应急管理的需求,必须转化为“情景-应对”型模式,即必须在事件发生时,针对事件具体的情景做出实时决策,决策者需要做到“实时解算、随机应变、因地制宜”。因此,如何对非常规突发事件信息进行快速有效的识别和分析处理,认识和理解其发生的结构特征、情景演化规律、应急决策动态作用机理,从而得出有效的危机应对策略,是当前非常规突发事件应急决策过程中决策者面临的核心关键问题。

在国民经济以信息化带动工业化的大形势下,充分利用信息化技术与智能决策技术研究非常规突发事件的智能决策方法,根据对事件信息的有效处理,预测其发展态势及未来可能的发展情景,并实时形成可操作性的应急预案,是预防和控制非常规突发事件进一步发展、实现有效应急决策与管理的重要途径之一。因此,本书拟从国内外发生的一些典型非常规突发事件案例出发,在研究其发生、发展、演化规律及应急决策机理的基础上,应用最新的智能决策理论与方法,开展基于情景分析与案例推理(case-based reasoning, CBR)的非常规突发事件应急决策关键技术研究,为“情景-应对”型非常规突发事件应急决策模式的构建与实现提供理论基础与参考。

### 1.1.2 研究意义

(1) 丰富和扩展非常规突发事件发生机理与预警方法的研究,促进突发事件情景推演技术的发展

通过安全科学技术、管理学、系统工程学、突变理论、信息融合技术、智能决策理论等多学科知识的交叉综合运用,在分析非常规突发事件系统特征的基础上,研究事件的发生机理与预警方法、情景分析与推演技术等,将丰富和扩展非常规突发事件发生机理与预警方法的研究,推动突发事件情景分析与推演技术的发展,为非常规突发事件预警预报、危机识别与隔离、综合应对与控制提供理论指导。

(2) 推动“情景-应对”型非常规突发事件应急决策模式的实现

针对非常规突发事件的“非常规性”及其应急决策的非程序性、非传统性和

情景依赖性,运用信息融合技术、人工智能理论等,将情景分析法与案例推理技术相结合,研究非常规突发事件应急决策的关键技术,构建“情景-应对”型智能决策平台,为更好地实现“情景-应对”型非常规突发事件应急决策模式提供了理论参考。

(3) 对指导非常规突发事件的预防和控制具有显著的现实意义

基于情景分析与案例推理的非常规突发事件应急决策关键技术研究,能够为非常规突发事件准确的情景预测,快速、及时的应急决策和救援提供支持和参考,对提高非常规突发事件应急决策的准确性和应急处理的有效性,实现科学有效的应急救援,防止事态恶化、降低事故损失、发挥应急管理的整体效能,具有重要的意义。

总之,开展基于情景分析与案例推理的非常规突发事件应急决策关键技术研究,既具有重要的理论价值,又对非常规突发事件的预防和控制具有十分重要的现实意义。

## 1.2 国内外研究现状

非常规突发事件是突发事件的子类,只是在特征上更加突出其“非常规性”。而“非常规性”是一个相对的、模糊的概念,因此,非常规突发事件与常规突发事件之间并无明显的界限,非常规突发事件的研究离不开突发事件的研究与实践基础。因此,以下从突发事件、情景分析法、案例推理技术及非常规突发事件四个方面对国内外研究现状予以综述。

### 1.2.1 突发事件的研究现状

从古至今,人类就不断地遭受着洪水、地震等自然灾害和恶性传染病等的侵袭,可以说人类文明就是在不断回应各种突发事件挑战的基础上发展起来的。然而有关突发事件的研究在 20 世纪初才开始探索。进入 21 世纪,“9·11”恐怖袭击、SARS 的蔓延以及美国次贷危机引发的全球金融风暴等一系列危机事件的发生,逐渐引起了各国政府和公众的普遍关注,探讨突发事件特别是非常规突发事件的预防和解决之道成为政府和学术界关注的焦点。目前,国内外学者对突发事件的研究主要从突发事件的概念界定、发生发展演化机理、应急决策与管理方法等几个方面开展研究。

#### 1.2.1.1 突发事件的概念研究

国际上与突发事件(emergency)相关的概念主要有事件(event, incident)、事故(accidence)、灾害(disaster)、干扰(disruption)、危机(crisis)和风险(risk)等,如表 1-1 所列。对于突发事件的定义更多是从危机(crisis)这一概念出发对

其进行界定。

表 1-1 突发事件相关概念

英文	中文	侧重点
event	一般性事件	相对中性的说法
accidence	事故	人造灾害
disaster	灾害	一般指自然灾害
incident	事件	造成损失
disruption	干扰	容易恢复到原状
crisis	危机	危险与机遇的转折点
emergency	突发事件	突发造成价值损失
risk	风险	最广义的概念

资料来源：中国应急管理研究网 <http://emr.casipm.ac.cn>。

例如：C. F. Hermann(1972)认为：“危机是一种情景状态，其决策主体的根本目标受到威胁，在改变决策之前可获得的反应时间很有限，其发生也出乎决策主体的意料”<sup>[2]</sup>。D. A. Rosenthal 等(1989)认为：“危机就是对一个社会系统的基本价值和行为准则架构产生威胁，并且在时间压力和不确定性极高的情况下，必须对其做出关键决策的事件”<sup>[3]</sup>。Fishman(1999)强调危机中潜在的负面效应，对人员、突发事件应急管理资源调度的研究产品、服务、资产和声誉可能造成巨大的损害，应对危机是指设法将各种损害降到最低限度<sup>[4]</sup>。I. Mitroff(2001)强调危机对组织的威胁，认为危机是现实地或潜在地威胁到一个组织的整体事件<sup>[5]</sup>。Laurence Barton(2002)认为：“危机是一个会引起潜在负面影响的具有不确定性的大事件，这种事件及其后果可能对组织及其人员、产品、服务、资产和声誉造成巨大的损害”<sup>[6]</sup>。此外，国际上与突发事件的定义相近、最具代表性的还有欧洲人权法院对“公共紧急状态”(public emergency)的解释，即“一种特别的、迫在眉睫的危机或危险局势，影响全体公民，并对整个社会的正常生活构成威胁”。美国对突发事件的定义大致可以概括为：由美国总统宣布的、在任何场合、任何情景下，在美国的任何地方发生的需联邦政府介入，提供补充性援助，以协助州和地方政府挽救生命、确保公共卫生、安全及财产或减轻、转移灾难所带来威胁的重大事件<sup>[7]</sup>。

我国学者在对突发事件的研究中，大多沿用国外学者的定义，也有一些学者提出了自己的见解。郭济(2004)认为“突发事件是突然发生并威胁公众生命财产、社会秩序和公共安全，需要政府立即采取应对措施加以处理的公共事件”<sup>[8]</sup>。杨丽英等(2006)在综合考察突发事件新闻特点之后，指出突发公共事件(突发性

件)是超越常规的,突然发生;造成或者可能造成重大人员伤亡、重大财产损失、重大生态环境破坏;影响或者威胁全国经济社会稳定和政治安定,有重大社会危害,需要政府立即处置的危险、紧急事件<sup>[9]</sup>。清华大学公共管理紧急状态立法研究项目报告《中华人民共和国紧急状态法(专家建议稿)》(2004)指出:“突发公共事件一般指突然发生,对全国或部分地区的国家安全和法律制度、社会安全和公共秩序、公民的生命和财产安全已经或可能构成重大威胁和损害,造成巨大的人员伤亡、财产损失和社会影响的,涉及公共安全的紧急公共事件<sup>[10]</sup>”。2007年11月1日起我国施行的《中华人民共和国突发事件应对法》中明确规定:“突发事件是指突然发生,造成或者可能造成严重社会危害,需要采取应急处置措施予以应对的自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件”。

### 1.2.1.2 突发事件的发生发展演化机理

突发事件的发生发展演化机理研究是从发生、发展、蔓延、衍生、转化、耦合等多个角度出发审视突发事件的规律性。目前,突发事件的机理体系主要包括突发事件的发生机理、发展机理和演化机理,其中突发事件的演化机理又可以分为蔓延机理、转换机理、衍生机理和耦合机理。总结国内外相关文献,其研究可分为单一突发事件的研究和突发事件链的研究。

(1)从国内外相关文献来看,对于单一突发事件的发生发展演化机理进行的研究相对较多,研究者主要应用物理化学、概率论、系统动力学、复杂性理论、博弈论等其他学科的方法对其进行研究。K. F. Cheung 和 A. C. Phadke 等(2005)从自然系统物理化学演化的角度对由暴风雨引起的洪水的发生、发展规律进行了研究<sup>[11]</sup>。A. Heiko 等(2006)基于概率论方法对灾害发生、发展过程中的不确定性现象进行了研究<sup>[12]</sup>。L. C. David(2003)利用系统动力学方法对加拿大 Novascotia 地区 1992 年的矿难进行研究,系统分析了引起矿难的原因<sup>[13]</sup>。魏一鸣等(2002)运用复杂性理论的基本方法,建立了基于 Swarm 的洪水灾害时空演化模拟平台,并通过实例模拟得到了一些洪水灾害的时空演化规律<sup>[14]</sup>。孙康等(2006)运用演化博弈分析方法,建立辽东湾违规捕捞海蚕群体性突发事件的演变模型,通过模型分析了群体性突发事件发生、发展的原因及演变规律<sup>[15]</sup>。吴国斌、余廉(2006)对突发事件的扩散、演化与应急决策等进行了研究<sup>[16]</sup>。范珉、苏巨诗等(2009)对我国公共场所经常发生的火灾、爆炸、结构破坏和集群行为 4 类突发事件的发生原因进行了分析,并对其演化机理进行了实证研究<sup>[17]</sup>。余廉等(2012)运用灾害学、应急管理、环境科学等相关理论构建了水污染突发事件演化模型,研究表明:社会因素和应急干预对水污染突发事件的演化具有推动作用;事件演化具有阶段性,不同阶段的动力因素存在差异;水污染突发事件应急管理具有多目标性,单一目标应急管理不能有效控制水污染突发事件演

化<sup>[18]</sup>。汤志伟等(2013)基于定性模拟技术理论,对群体性事件演化轨迹进行了定性模拟,从不同的初始条件出发,得到了比较接近社会实际情况的模拟结果<sup>[19]</sup>。李勇建等(2014)从“事件类型、关键属性、从属属性、环境属性和危害评估属性”对其进行结构化描述。在此基础上,根据广义随机 Petri 网与马尔科夫链的同构关系,得到了重大传染病传播演化的广义 Petri 网模型和等价马尔科夫链模型<sup>[20]</sup>。

(2) 大量的突发事件案例表明,任何突发事件的发生发展都不是孤立的、静止的,一种突发事件的发生总是会引发一系列的次生、衍生事件,各种突发事件之间存在着错综复杂的关系。目前国内外学者开始关注多个突发事件相继发生形成的突发事件链。文传甲(1994,2000)最早从功能、结构和本质三个角度提出了灾害链的定义,认为灾害链是一种灾害启动另一种灾害的现象,前一种灾害是后一种灾害的部分原因(主、次、诱导或触发等),称前一种灾害为启动灾环,后一种灾害为被动灾环<sup>[21,22]</sup>。王建伟等(2008)运用复杂网络的相关理论和方法,构建了一个突发事件连锁反应网络模型,收集各个突发事件领域的案例,对各种突发事件形成的复杂网络进行了统计分析<sup>[23]</sup>。裘江南等(2009)针对应急管理知识需求,从突发事件的演化机理入手,抽象和提炼出了突发事件的共性要素,并根据要素之间的关系,建立了突发事件与突发事件链知识模型<sup>[24]</sup>;其次,运用系统论观点分析了突发事件之间的耦合作用机理;进而运用协同学理论构建了突发事件耦合度模型,包括功效函数、耦合度函数和耦合度指标体系,该模型揭示了突发事件之间的耦合机理,能够对不同突发事件之间的耦合程度进行量化,为有效控制突发事件的连锁反应提供科学依据<sup>[25]</sup>。裘江南等(2012)针对各突发事件具有高度不确定性、系统性和链式反应的特点,将各类突发事件统一抽象为输入、状态和输出相互作用的三层网络结构。以贝叶斯网络为建模工具,提出了适用于不确定性突发事件的单一事件贝叶斯网络。在此基础上,提出了具有关联关系的单一事件贝叶斯网络的合并方法,进而构建出了突发事件链贝叶斯网络模型<sup>[26]</sup>。马骁霏、仲秋雁等(2013)利用知识元刻画情景与事件,通过知识元间的关联,分析情景与事件相互作用关系,事件间的演变规律;以数据和规则为驱动,提出了一种基于情景的突发事件链构建方法<sup>[27]</sup>。迟菲、陈安(2013,2014)研究了突发事件蔓延和耦合的类型及因素类型,蔓延和耦合因素在突发事件中产生的效应,并提出突发事件蔓延和耦合的应对策略<sup>[28,29]</sup>。

### 1.2.1.3 突发事件的应急管理研究

应急管理是一门综合、交叉运用公共管理、运筹学、战略管理、信息技术以及各种专门知识,研究突发事件决策优化的科学。近年来,由于一些重大事件的发生对社会公共安全造成了巨大的冲击,关于这方面的研究引起了越来越多的关

注。应急管理研究也因为突发事件对社会的重大影响而凸现出其重要意义<sup>[30]</sup>。许多国家都设立了专门的研究机构,如美国的兰德公司、英国的伦敦国际战略研究所、日本的野村综合研究所等。日本是较早研究突发事件应急管理的国家。2001年日本设立了由首相直接任命的危机管理总监,改变了各省厅各自为政的管理方式。“9·11”事件后,美国在全国几乎每个城市都建立了研究机构,大幅度扩大了研究队伍,对世界上的各种疾病和城市灾害进行研究。目前,国内外学者针对应急管理的理论研究主要从以下几个方面展开:

#### (1) 应急管理的基本概念、特点、分类、体系构成、运行机制等方面

杨静、陈建明等(2005)通过应急管理分类分级的思路和方法确定突发事件发生、发展及状态转移状况,为建立突发事件处置预案提供了依据<sup>[31]</sup>。季学伟、翁文国等(2008)对突发公共事件预警分级定量模型进行了研究,建立了预警分级综合模糊评判模型计算框架<sup>[32]</sup>。李湖生、刘铁民(2009)指出了应急准备规划理论与方法、应急准备系统结构、任务和目标能力、应急准备评估理论与方法、应急准备文化的内涵与特征等应急准备体系理论研究方面的关键科学问题<sup>[33]</sup>。闪淳昌等(2010、2011)在总结了美国过去200多年应急管理体系演变与发展脉络和我国在过去几年中应急管理机制建设过程的基础上,提出了深化与完善我国应急管理机制建设工作的总体思路<sup>[34,35]</sup>。童星等(2013)基于灾害生命周期理论提出了全周期应急管理机制<sup>[36]</sup>。

#### (2) 应急预案编制方面

在应急预案编制方面,L. Jenkins(1999、2000)针对有毒物质泄漏处置预案的制订,对如何选取预案中的特定场景等决策问题进行深入研究,并建立了一个整数规划模型,使得所有选取的情景覆盖程度之和最大<sup>[37,38]</sup>。吴宗之等(2003)对重大事故应急预案分级、分类体系及其基本内容进行了总结和分析<sup>[39]</sup>。刘功智、刘铁民(2004)提出了重大事故应急预案编制指南<sup>[40]</sup>。黄建群(2006)对应急救援预案在制订和应用中存在的问题进行分析,并提出了改进措施<sup>[41]</sup>。滕五晓(2006)探讨了城市灾害应急预案的基本要素<sup>[42]</sup>。刘畅等(2010)针对数字化预案建设过程中的新问题,结合语义 Web 服务技术,建立了基于语义 Web 服务的数字化应急预案检索系统<sup>[43]</sup>。于瑛英、池宏(2007)把项目管理中的网络计划与应急预案相结合,将应急预案的应对过程看作项目,应对步骤看作工序,使用网络计划的形式来表达可操作性预案的应对过程,给出示例进行说明,并使用网络计划来分析应急预案的时间计划<sup>[44]</sup>。刘铁民(2011)针对我国应急预案顶层设计需求,分析应急管理体系建设主要经验和现实问题,提出应急预案体系建设首先应以重大突发事件情景构建为基础;以加强应急准备为指导思想和提高应急准备能力为核心目标;以系统论和系统工程为基本方法,形成具有战略性、前瞻性、继承性和致用性应急预案体系框架的总体设计,认为从应急管理长远发展上

考量,突发事件应急预案系统结构其重要度远大于单个应急预案的完整性<sup>[45]</sup>。并于2012年提出了以“情景-任务-能力”为技术路线的应急预案编制方法<sup>[46]</sup>。吴晓涛(2014)在总结我国突发事件应急预案研究工作的重点和特点的基础上,提出今后的研究需要关注以下四个方面的问题:一是突发事件应急预案的功能、概念、框架及内容;二是突发事件应急预案编制技术;三是突发事件应急预案的评估理论;四是突发事件疏散与撤离预案的编制<sup>[47]</sup>。

### (3) 应急智能决策支持方面

在应急智能决策支持方面,范维澄(2005、2007)提出了突发公共事件应急信息系统总体方案,并凝练出我国最近5~10年内应急管理基础研究迫切需要研究解决的关键科学问题,主要包括:应急管理体系的复杂性科学问题,应急心理与行为的科学问题,突发公共事件的信息获取及分析的科学问题,多因素风险评估和多尺度预测预警的科学问题,以及复杂条件下应急决策的科学问题<sup>[48,49]</sup>。刘士兴等(2007)围绕火灾、爆炸与毒气泄漏等突发重大事故,研究灾害事故监测技术、模拟预测方法,集成 Internet、GIS、无线数据传输、无线通讯等信息化技术,以分布式的形式整合各独立系统,构建应急管理与决策系统平台<sup>[50]</sup>。李红霞、袁晓芳等(2008、2009)针对重大突发事件应急救援与决策中的复杂性、不确定性等特点,构建了基于义类词典和云模型的重大突发事件案例推理系统和基于义类词典的煤矿瓦斯爆炸案例推理系统<sup>[51,52]</sup>。魏伟(2009)利用数学分析的方法分析建筑突发事件的特点,构建了突发事件的处理机制,包括智能建筑系统集成、突发事件决策支持和虚拟现实三大模块,并对这些模块进行了研究设计和具体实现<sup>[53]</sup>。蒋浩等(2013)针对目前环灾应急决策系统中预案信息化程度低、动态应急能力不足的问题,在数字化预案的基础上,提出了一套基于案例推理(CBR)和基于规则推理(RBR)相结合的智能辅助决策机制<sup>[54]</sup>。崔世莉等(2014)提出利用非结构化的管理信息系统来对应急管理中的信息进行组织、管理,以给决策者提供准确、及时、完整的信息,给决策者进行正确决策提供帮助<sup>[55]</sup>。

### (4) 资源调度与优化配置方面

在资源调度与优化配置方面,国外的 G. Barbarosoglu(2004)发展了救灾援助中的直升机派遣问题的数学模型<sup>[56]</sup>。C. S. Revelle 和 H. A. Eiselt(2005)对应急设施的选址问题进行研究,指出设施的服务半径是有标准的,构建了设施覆盖问题(location set covering problem, LSCP)模型和最大覆盖问题(maximum covering location problem, MCLP)模型<sup>[57]</sup>。在国内,计国君等(2007)综合考虑后续一定时间内系统中灾情的发展状况及对抗灾物资的需求情况,利用机会成本的关系,建立了整数规划模型,为实现应急物流配送系统资源调度的最优方案提供了依据<sup>[58]</sup>。王苏生等(2008)等研究了基于公平优先原则的多受灾点应急

资源配置算法<sup>[59]</sup>。杨琴等(2010)研究了突发事件中、后瓶颈环节中资源调度问题<sup>[60,61]</sup>。陈雷雷、王海燕(2010)研究了大规模突发事件中基于满意度的应急物资优化调度模型<sup>[62]</sup>。杨文国、黄钧等(2010)对大规模突发事件中伤员救助的救护车分配优化模型进行了研究<sup>[63]</sup>。孔祥荣、韩伯棠(2010)研究了基于合作博弈的运输分配方法<sup>[64]</sup>。文仁强等(2013)基于灾后应急资源调度的特点,建立了考虑多需求点、多供应点、多资源类型、且多个资源供应点能为多个资源需求点协同配备资源的多目标优化调度模型,能够很好地处理大型复杂网络<sup>[65]</sup>。杨琴等(2013)将应急资源动态调度问题描述为存在明显瓶颈环节,以最小化加权滞后时间和为目标,受多约束(信息约束、时间约束、资源约束)限制的动态 FJSP 问题,提出了基于 DBR 理论的方法进行优化调度<sup>[66]</sup>。杨建芳等(2014)在假定当前应急物资数量和种类已知,同时运输方式的种类、运输工具的数量和容量已知的情况下,以救灾物资能够产生最大效益,同时也希望自己的运输成本尽可能少为目标,如何合理安排物资运输,构建了数学模型,并设计了适合求解多运输方式应急物资调度的算法<sup>[67]</sup>。

#### (5) 受灾人群管理方面

在受灾人群管理方面,包括处在灾难中的人群撤离问题、运动模型、行为模型、心理状况分析等。F. R. B. Cruz 等(2005)设计了一个主要用于高层建筑的人员撤离模型<sup>[68]</sup>。时勤(2010)主编的《灾难心理学》对突发事件的社会心理预警进行了研究<sup>[69]</sup>。陈雪峰等(2009)对灾后心理援助的组织与实施进行了研究<sup>[70]</sup>。宋旭红等(2010)进行了重大灾害后受灾人群 ABC 干预的研究<sup>[71]</sup>。赵来军等(2011)将地震后灾民身心应激症状分解为 4 个指标,即生理症状、认知症状、情绪症状和行为症状。采用突变级数法构建了地震灾害后灾民身心应激症状突变模型,并以“5·12”汶川地震为例做实证研究,对不同类型受灾人群身心应激症状影响度进行了分析<sup>[72]</sup>。邓丽红、孟恩弘等(2012)基于皮电、心率和  $\beta$  波等生理指标研究了指挥人员的应急能力度量问题<sup>[73]</sup>。张江石、傅贵等(2012)基于个体的生理参数指标研究了矿工应急处置能力的评估问题,甄选出 7 项生理指标在一定程度上反映了矿工应急处置能力的状况,提出了矿工应急处置能力评估指数和测算方法<sup>[74]</sup>。

在应急管理的应用实践中,国外一些国家形成了具有国家特色的应急管理体系。如美国自二战以来,就相当重视突发事件应急管理体系建设。早在 1947 年,美国就通过了《国家安全法》,1967 年建立了覆盖全国的 911 紧急救助服务系统,1979 年摒弃传统的分灾种、分部门的单一应急管理模式,建立了以联邦应急管理局(Federal Emergency Management Agency, FEMA)为核心的政府应急管理体系,并于 20 世纪 90 年代逐步形成功能完备的突发事件应急管理体系。日本的应急管理体系是在战后 50 多年的防灾管理体系的基础上建立起来的,进



入 20 世纪 90 年代后,日本先后发生阪神大地震、奥姆真理教投放毒气等系列重大突发事件后,逐步建立和完善了综合性应急管理体系<sup>[75]</sup>。

我国以 2003 年 SARS 应急处置为契机,启动了应急管理工作,并从单一的防灾减灾体系建设过渡到综合性的应急管理体系建设,制订了国家突发公共事件总体应急预案及各专项应急预案、省市总体应急预案和部门应急预案。2005 年推进落实“一案三制”(指应急预案,应急管理体制、机制和法制),国务院应急管理办公室正式成立,各地方、部门、企业等都根据各自的特点建立了相应的应急管理组织机构。

#### 1.2.1.4 突发事件研究现状总结

综上所述,无论在实际应用还是理论研究上,国内外对传统突发事件的概念、特征、演化机理以及应急决策和应急管理体系的构成、运行机制等方面的研究已取得了丰硕的研究成果,各国的突发事件应急管理体系框架已初步形成,并且在危机预防和突发事件应急管理实践中发挥着很重要的作用。这为突发事件的决策及应对做出了重要而突出的贡献。但目前随着社会系统组织程度的不断增加,不同社会子系统间的关联度和依赖性日益加强,突发事件越发具有明显的罕见性和不可预测性、高度的衍生性和连锁动态性、典型的灾难性与不可控制性以及严重的社会恐慌和危机性等“非常规”特征,因此,如何基于现有的知识和以往的经验进行非常规突发事件的应急决策与管理,还需要进行深入的研究。

### 1.2.2 情景分析法的研究现状

情景分析法是一种灵活的、能应对不确定环境的动态战略规划思想,在西方已有几十年的历史,最早应用在军事上。20 世纪 40 年代末,美国兰德公司的国防分析员对核武器可能被敌对国家利用的各种情形加以描述,这是情景分析法的开始。到 20 世纪 70 年代,兰德公司在为美国国防部就导弹防御计划做咨询时进一步发展了该方法。如今,情景分析法被广泛应用于企业管理、经济评价与预测、交通规划、农业发展、能源需求以及气候变化等领域。许多世界著名的跨国公司,如美国壳牌石油公司、德国 BASF 公司、戴姆勒-奔驰公司、美国波音公司等,在制订战略规划时都使用该方法。此外,一些国家政府也采用了该方法,如南非白人政府种族隔离制度的和平变革,就是利用该方法推导了各种选择的可能结果之后做出的选择。

在理论研究方面,国外对情景分析法的研究侧重于对情景、情景分析的概念、情景分析过程和具体方法的研究,国内主要侧重于情景分析法的应用研究。

#### 1.2.2.1 情景的概念研究

“情景”(scenario)一词最早出现于 1967 年 Herman Kahn 和 Wiener 合著的