



突发事件应急决策方法研究

李铭洋 曹萍萍 曲晓宁◎著



RESEARCH ON METHODS FOR
EMERGENCY DECISION-MAKING



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE



突发事件应急决策方法研究

李铭洋 曹萍萍 曲晓宁◎著



RESEARCH ON METHODS FOR
EMERGENCY DECISION-MAKING



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

突发事件应急决策方法研究 / 李铭洋, 曹萍萍, 曲晓宁著, —北京: 经济管理出版社, 2018. 10

ISBN 978-7-5096-5454-5

I. ①突… II. ①李… ②曹… ③曲… III. ①突发事件—应急对策—研究

IV. ①D035. 34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 220502 号

组稿编辑: 张永美

责任编辑: 范美琴

责任印制: 黄章平

责任校对: 张晓燕

出版发行: 经济管理出版社

(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn

电 话: (010) 51915602

印 刷: 三河市延风印装有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 720mm×1000mm/16

印 张: 11.5

字 数: 187 千字

版 次: 2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5096-5454-5

定 价: 48.00 元

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

应急决策问题是指如何在突发事件刚刚发生或出现某些征兆时,收集、整理以及分析信息,明确应急问题和目标,选择最佳的应急方案以最大限度地降低突发事件所造成的损失。应急决策问题在现实中包含着多类需要研究的问题,如突发事件的应急方案选择、应急预案的选择、应急救援人员及任务分派等。此前,一些学者针对各类应急场景已给出多种应急决策方法,但仍有一些情形需要深入探讨,如属性值为随机变量且属性相关联情形下的应急方案选择、基于若干已有案例的应急方案选择、存在多个救援点的应急救援人员派遣等。针对应急决策问题进行深入研究,提出若干具有针对性的应急决策方法,这些研究工作仍具有重要的理论意义和现实意义。

基于此,本书对应急决策问题与方法进行了探讨与研究,主要完成了以下几个方面的研究:

(1) 提出了具有随机变量形式属性值的突发事件应急方案选择方法。这方面的研究工作主要包括两个方面:①给出了具有随机变量形式属性值的突发事件应急方案选择问题的研究框架。②提出了具有随机变量形式属性值的突发事件应急方案选择方法。该方法是将属性值为随机变量形式的各属性的规范化优势度矩阵和属性值为数值型的各属性的规范化决策矩阵集结得到综合决策矩阵,进而计算各方案的综合评价值并选择最佳的应急方案。

(2) 提出了考虑属性关联的人群聚集区域应急方案选择方法。这方面的研究工作主要包括两个方面:①给出了考虑属性关联的人群聚集区域应急方

案选择问题的研究框架。②提出了考虑属性关联的人群聚集区域应急方案选择方法。该方法是借助于离散 Choquet 积分来构建评价矩阵,进而计算各应急方案的综合评价价值并选择最佳的应急方案。

(3) 提出了考虑期望的应急决策方法。这方面的研究工作主要包括三个方面:①给出了考虑期望的应急决策方案选择问题的研究框架。②提出了基于失望理论考虑群体期望和属性关联的多属性风险决策方法。该方法是引入了失望理论刻画决策者心理行为因素,借助于离散 Choquet 积分处理属性关联,依次计算得到最佳的应急方案。③提出了考虑参照点且属性关联的应急风险决策方法。该方法考虑了决策者的参照依赖以及失望—欣喜等心理行为特征,引入了失望理论进行处理,借助于离散 Choquet 积分处理属性关联,依次计算得到最佳的应急方案。

(4) 提出了基于案例决策理论的应急决策方法。这方面的研究工作主要包括三个方面:①给出了基于案例决策理论的应急决策方案选择问题的研究框架。②提出了考虑多种形式属性值的人群聚集区域公共安全应急方案选择方法。该方法借助 CBDT 的思想,通过计算目标案例与历史案例的相似度,获得备选应急方案的效用值,并根据效用值的大小来确定当前公共安全应急问题的应急方案。③提出了考虑应急效果和应急成本的突发事件应急预案生成方法。该方法借助 CBDT 的思想,度量当前应急问题与历史案例中的应急问题的相似程度,以及备选应急方案与历史案例中的应急行动方案的相似程度,依次通过计算和比较选择最佳的应急预案。

(5) 提出了突发事件应急救援的人员派遣模型。这方面的研究工作主要包括三个方面:①给出了突发事件应急救援人员派遣问题的研究框架。②提出了考虑时间满意度的多救援点突发事件应急救援人员派遣模型。该方法根据救援人员对救援工作的胜任度,刻画了时间满意度函数来衡量应急救援效率,进而通过构建和求解人员派遣模型获得最佳的人员派遣方案。③提出了考虑协同效应和满意度的多救援点突发事件应急救援人员派遣模型。该方法依据救援人员对救援工作的排序,得到救援人员对救援工作的满意度,考虑救援人员的协同程度,计算救援人员对救援工作的胜任度,刻画时间满意度函数,进而通过构建和求解人员派遣模型获得最佳的人员派遣方案。

本书提出的应急决策方法可用来解决现实中大量存在的应急决策问题，并可扩展到其他具有应急决策特征的决策问题中，提出的方法对现实应急决策问题的研究提供了方法层面的借鉴和指导。在本书的撰写过程中，另两位作者做了大量工作，曹萍萍老师负责第三、四、五、六章共 10 万字的撰写工作；曲晓宁同学整理资料、查阅文献并撰写了一些章节的初稿。她们辛勤且有效的工作使得本书能在较短的时间内定稿。此外，本书的撰写也获得了许多专家、学者的帮助和指导，使本书的研究工作能够顺利开展并最终完成，这里表示感谢！

本书的研究工作得到了国家自然科学基金资助项目（71503266）、公安部公安理论与软科学基金项目（2018LLYJXJXY054）、辽宁省社会科学基金项目（L17AGL001）和辽宁经济社会发展课题（2019lslktyb-034）的资助。

本书的一些内容是探索性的研究成果，由于笔者水平有限，书中难免存在不妥以及疏漏之处，敬请同行专家给予批评指正。

李铭洋

2018 年 8 月于沈阳

第一章 绪 论	1
第一节 研究背景	1
一、现实中存在大量应急决策问题	1
二、应急决策模型与方法研究备受重视	2
三、应急决策方法研究的必要性	3
第二节 问题的提出	4
一、应急决策问题的提炼	4
二、应急救援时间满意度函数的刻画	4
三、考虑随机变量形式的属性值及属性关联的应急方案选择方法	5
四、考虑期望的应急风险决策方法	5
五、基于案例决策理论的应急决策方法	6
六、考虑多救援点的突发事件应急救援人员派遣模型	6
第三节 研究目标与研究意义	7
一、研究目标	7
二、研究意义	8
第四节 研究内容、研究方法和技術路线	9
一、研究内容	9
二、研究方法	11
三、研究思路与技術路线	11
第五节 本书章节安排	13
第六节 本书数学符号及用语的说明	14
第二章 应急决策相关研究文献综述	15
第一节 文献检索情况概述	15

一、文献检索范围分析	15
二、相关文献情况分析	16
三、学术趋势分析	17
第二节 关于应急决策问题的研究	18
一、突发事件的应急管理问题	18
二、人群聚集区域的应急管理问题	21
三、多属性风险决策问题	22
四、应急预案的制定问题	25
五、应急救援问题	27
第三节 关于应急决策方法的研究	30
一、数学规划方法	30
二、多属性决策方法	31
三、群决策方法	32
四、应急预案生成方法	33
五、数学建模法	34
第四节 对已有研究的贡献与不足的总结	36
一、已有成果的主要贡献	36
二、已有成果的不足之处	37
第五节 已有研究对本书研究的启示	37
本章小结	38

第三章 具有随机变量形式属性值的突发事件应急方案选择方法

第一节 具有随机变量形式属性值的突发事件应急方案选择问题	
描述及研究框架	39
一、问题描述	39
二、研究框架	40
第二节 具有随机变量形式属性值的突发事件应急方案选择方法	41
一、符号定义与说明	41
二、应急方案选择方法	43
三、算例分析	45
本章小结	51

第四章 考虑属性关联的人群聚集区域应急方案选择方法	52
第一节 考虑属性关联的人群聚集区域应急方案选择问题描述及研究框架	52
一、问题描述	52
二、研究框架	53
第二节 考虑属性关联的人群聚集区域应急方案选择方法	54
一、符号定义与说明	54
二、应急方案选择方法	55
三、算例	58
本章小结	61
第五章 考虑期望的应急决策方法	62
第一节 考虑期望的应急决策方法选择问题描述及研究框架	62
一、问题描述	62
二、研究框架	64
第二节 考虑参照点且属性关联的应急风险决策方法	65
一、符号定义与说明	65
二、决策分析方法	67
三、算例	71
第三节 基于失望理论考虑群体期望和属性关联的多属性风险决策方法	74
一、符号定义与说明	75
二、决策分析方法	76
三、算例	80
本章小结	84
第六章 基于案例决策理论的应急决策方法	86
第一节 基于案例决策理论的应急决策方法问题描述及研究框架	86
一、问题描述	86
二、研究框架	89
第二节 考虑多种形式属性值的人群聚集区域公共安全应急方案选择方法	90
一、符号定义与说明	91
二、公共安全应急方案选择方法	94
三、算例	97

第三节 考虑应急效果和应急成本的突发事件应急预案生成方法	101
一、符号定义与说明	102
二、突发事件应急预案生成方法	103
三、算例	107
本章小结	110
第七章 突发事件应急救援的人员派遣模型	112
第一节 突发事件应急救援的人员派遣问题描述及研究框架	112
一、问题描述	112
二、研究框架	114
第二节 考虑时间满意度的多救援点突发事件应急救援人员派遣模型	116
一、符号定义与说明	116
二、应急救援人员派遣模型的构建与求解	117
三、算例	122
第三节 考虑协同效应和满意度的多救援点突发事件应急救援人员派遣模型	126
一、符号定义与说明	126
二、突发事件应急救援人员派遣模型的构建及求解	128
三、算例	138
本章小结	149
第八章 结论与展望	151
第一节 本书的主要成果及结论	151
一、主要成果	151
二、主要结论	154
第二节 本书的主要贡献	154
第三节 本书研究的局限	155
第四节 后续研究工作展望	156
参考文献	157
后 记	174

第一章 绪 论

第一节 研究背景

一、现实中存在大量应急决策问题

在现实生活中，由于天气及人为因素的影响，突发事件以多种形式频繁发生，也越来越多地得到社会公众的关注。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。例如，夏汛期间发生的洪水灾害、突发火灾、禽流感等传染病暴发、恐怖袭击、由于人群拥挤而造成的踩踏事件等均属于突发事件。突发事件具有复杂性、不确定性以及高破坏性的特点，一旦发生，往往会造成较为严重的人员伤亡与财产损失。因此，突发事件发生后，需要相关机构采取决策措施，及时地开展应急响应和应急决策，最大限度地减小损失，维护人民群众的生命财产安全。下面通过几个典型的应急决策的例子来说明现实中存在着大量的应急决策问题。

在现实生活中，由于天气因素的影响，在夏季中国南方地区为暴雨多发地，时常会连续遭遇强降雨侵袭，由于持续强降雨，可能会出现河堤溃口的风险。溃口一旦发生，将会殃及周围的村庄，造成人员失踪及伤亡，农作物大面积受损，造成财产巨大损失。在灾害刚刚发生或出现某些征兆时，及时、有效地采取应急措施将最大限度地降低灾害所造成的损失。

近年来，越来越多的娱乐活动、商业活动、体育活动、文化活动等出现

在人们的生活中,丰富了人们的生活,但相对地,由于这样的活动伴随着大量的人群聚集,在热闹的背后隐藏着巨大的安全隐患,使公共安全突发事件发生的可能性持续上升。在这些活动中,一旦发生突发事件,各类风险将会被二次放大,对社会公众的安全构成威胁。因此,在人群聚集区域的公共安全突发事件刚刚发生或出现某些征兆时,需要及时分析情况,收集信息,根据人员的拥挤程度选择合适的管理方法与策略来进行应急响应,以最大限度地来保障公众安全。

在现实的应急情境中,如台风、地震、火灾等突发事件发生时往往面临时间紧迫、环境复杂多变等情形,需要事先制定出详细、合理有效的应急预案,从而对可能发生的突发事件的应急响应提供决策支持。那么,对于多个可能出现的应急情境,基于已有应急响应案例信息制定合理有效的应急预案是应急管理的重要环节。

一些规模、影响较大的突发事件可能会造成多个地点同时受灾,这时需要考虑对多个救援点同时进行救援。例如,2008年5月12日,四川省汶川县发生特大地震,波及范围较广,造成大规模的人员伤亡,引起交通、通信、供水、供电中断,财产损失不计其数。地震发生后,政府第一时间从各地调遣军队、医护救援人员,并发动志愿者等社会救援力量,争分夺秒地赶赴灾区进行救援任务。在突发事件发生后,考虑到救援时间通常具有紧迫性,为了最大限度地减少突发事件造成的人员伤亡和财产损失,科学地进行应急决策,有效地派遣救援人员赶赴事件发生地区实施救援任务就显得尤为重要。

二、应急决策模型与方法研究备受重视

由于现实中存在大量的应急决策问题,所以有关应急决策模型与方法的研究已经受到学者和研究机构的关注。目前,在“Decision Support Systems”“European Journal of Operational Research”“Information Sciences”“International Journal of Production Economics”“Applied Soft Computing”“Knowledge-Based Systems”“Reliability Engineering & System Safety”等国际学术期刊上可以看到许多关于应急决策问题研究的论文发表。

许多学者针对不同的实际问题,研究有针对性的应急决策模型与方法。例如,

Xu 针对自然灾害应急响应中的大群体决策进行了研究,通过分析应急响应中大群体决策的特点给出了一种降低风险的决策方法;Levy 针对面向洪水应急响应中的决策特征,提出了一个决策支持框架并构建了相应的多目标决策支持系统;Sampson 针对公共服务中作为志愿者参与服务的人员派遣问题,考虑参与服务的志愿者的数量以及志愿者对不同服务任务的参与意愿,建立了目标规划模型,并通过模型的求解得到志愿者派遣方案;Seyda 和 Ierm 针对考虑在职时间和工作强度等因素的医护人员的工作调度问题,建立了能够获取医护人员最优指派方案的混合整数规划模型,并设计了求解模型的列生成算法;Falasca 和 Zobel 针对人道组织中的志愿者派遣问题,考虑志愿者的能力以及对各项任务的参与意愿,建立了多目标优化模型,并通过模型的求解获得最优的志愿者派遣方案。樊治平、袁媛、刘洋、王亮、姜艳萍等学者分别针对现实中不同类型的应急决策问题,基于不同的视角给出了具有各自适用性的应急决策模型与方法。

三、应急决策方法研究的必要性

在现实的应急决策问题中,得到合理有效的应急决策结果是参与应急管理的要求。解决应急决策问题的应急决策方法的研究一直以来深受学者的关注,国外学者如 H. Sandi、Sampson、Falasca 等,国内学者如樊治平、刘洋、袁媛、王亮、王雪青等,均对不同类型的应急决策问题展开研究,基于不同的理论与方法给出了解决各类应急决策问题的应急决策方法。目前,仍存在深入研究应急决策的模型与方法的必要性,这主要是基于以下几点考虑:

(1) 在现实的应急决策问题中,由于突发事件演化的高度不确定性,所以突发事件的发展和演变往往面临多个可能的状态,同时突发事件的复杂性和不确定性会使部分属性的取值为随机变量的形式,以及属性之间可能存在关联情形等。已有的在此方面研究不够丰富,进一步研究科学、合理、有效的应急决策方法来解决应急决策问题成为一种必然。

(2) 已有的关于应急预案的研究大多是针对应急预案的涵盖内容、编制程序等方面进行的分析与探讨,较少涉及利用决策分析技术来寻求生成最优的应急预案。因此,基于案例决策等方法技术来生成或选择最优突发事件应急预案,有助于应急决策的实施,具有现实意义与研究的必要性。

(3) 在突发事件应急救援中,派遣合适的应急救援人员展开救援是获得良好救援效果的关键。救援人员派遣的效果与救援人员到达时间、救援人员与工作的适合程度等密切相关,若考虑规模较大的突发事件发生后往往存在多个受灾地点同时需要救援,人员派遣决策需考虑的因素十分复杂。为获得合适的应急人员派遣方案,对应急救援工作提供更好的决策支持,有必要对突发事件应急救援人员派遣问题进行深入研究。

综上所述,深入研究应急决策模型与方法是解决现实中应急决策问题的需求,对推进应急管理工作具有积极意义,同时也为相关研究打下重要基础。

第二节 问题的提出

一、应急决策问题的提炼

在现实生活中,常见的应急决策问题背景包括地震应急救援问题、自然灾害应对的应急决策问题、人群聚集区域的风险防控问题、突发事件应急物资调度问题、应急救援人员派遣问题等。

已有的应急决策研究较少考虑属性关联且属性值不确定的情况,也较少考虑复杂情形下多救援点的应急救援人员派遣问题,以及复杂不确定环境下应急预案选择问题,而这些都是基于广泛的现实背景提炼出来的。因此,分析现实中应急决策问题的多类型属性值、属性关联、属性期望、救援时间满意度、人员匹配度等基本特征和复杂特征,对应急决策问题进行分类界定和提炼,是研究有针对性应急决策方法的基础。

二、应急救援时间满意度函数的刻画

在应急决策人员派遣问题的研究中,要想取得最大的应急救援效果,对应急救援时间满意度的刻画是相关研究的前提与基础,这就需要对时间满意度函数进行研究。在已有的考虑救援时间的应急救援问题研究中,关于时间满意度函数的分析与探讨尚不多见。在可以看到的研究成果中,学者构建了线性形态的满意度

函数,但并没有对满意度函数的性质进行深入研究。

为了更好地研究考虑救援时间的应急救援人员派遣问题,需要分析时间满意度函数的具体性质,并基于各个救援点的具体情况,以及应急救援的到达时间,给出非线性形态的满意度函数,研究构建符合心理学分析的时间满意度函数。

三、考虑随机变量形式的属性值及属性关联的应急方案选择方法

对考虑随机变量形式的属性值及属性关联的应急方案选择方法的研究目前还较少。一些学者虽然提出了应急决策中关于属性值的复杂性,但是对于具有随机变量形式的属性值的突发事件应急方案选择方法、考虑属性关联的应急方案选择方法等尚未做出探讨。

由于突发事件演化的高度不确定性,突发事件的发展和演变往往面临多个可能的状态,又因为突发事件的复杂性和不确定性,一些属性的属性值可能表示为随机变量的形式,且存在关联性。对于考虑随机变量形式属性值及属性关联的应急方案选择问题,可分为考虑随机变量形式属性值的突发事件应急方案选择问题和考虑属性关联的应急方案选择问题。对于这两类问题,均需就属性的关系及取值展开研究,提出考虑随机变量属性值的突发事件应急方案选择方法和考虑属性关联的应急方案选择方法。

四、考虑期望的应急风险决策方法

在现实中存在大量的多属性风险决策问题,在新产品开发、投资项目选择等领域有着广泛的应用。突发事件应急决策在一些情境下表现为多属性风险决策问题,如何在考虑多个决策者的心理期望以及属性之间存在关联的情形下,给出相应的多属性风险决策方法,是一个值得研究的问题。

早期关于多属性风险决策方法的研究大多遵循期望效用理论,但此后一些研究人员发现,决策者在决策分析中通常是有限理性的,故将前景理论引入多属性风险决策研究中。然而,前景理论在决策方法应用中存在困难,其价值函数公式中存在较多的参数,这些参数的取值很难确定,其取值的不同又会导致决策分析的结果不同。在考虑决策者的心理行为特别是群体心理行为时,有必要研究新的多属性风险决策方法。

此外,针对决策者给出属性期望且存在属性关联情形的突发事件应急风险决策问题,在决策过程中,属性之间可能存在着关联性,且决策者针对不同的状态会有不同的心理期望。对于考虑具有多状态、多属性期望且属性具有关联性的突发事件应急风险决策方法进行研究,是具有一定实际意义的。

五、基于案例决策理论的应急决策方法

随着社会的发展,各类突发事件时有发生,突发事件发生时通常面临着时间紧迫、环境复杂多变等情形。当突发事件发生时,决策者必须在极短的时间内拿出适当的应急方案,以最大限度地降低事件造成的危害,保证群众生命财产安全和社会稳定。由于突发事件发生时通常具有时间紧迫、外部环境复杂多变、行动方案结果难以准确估计等特征,这使得要制定出准确有效的应急方案具有很大的难度与挑战。在此种情形下,决策者可以依据现有的突发事件的可用案例(包括历史案例和同类应急预案案例),考虑到当前突发事件与可用案例的相似程度、可用案例应急响应(或模拟演练)效果、当前突发事件的具体特征等因素,通过一个合理有效的决策分析手段快速生成或选择出所需的应急方案。

六、考虑多救援点的突发事件应急救援人员派遣模型

突发事件发生后可能会造成较大的财产损失和人员伤亡,因此,在突发事件发生后需要及时派遣救援人员赶赴事件发生地区实施救援任务。例如,四川汶川特大地震波及范围较广,造成大规模的人员伤亡,引起交通、通信、供水、供电中断,财产损失不计其数。地震发生后,政府第一时间从各地调遣军队、医护救援人员,并发动志愿者等社会救援力量,争分夺秒地赶赴灾区开展救援任务。

当突发事件发生后,决策者需要在时间紧迫、情景演化复杂多变、资源和能力有限的情况下,根据突发事件的性质、特点和危害程度,派遣应急救援人员从事搜索与救援、医疗急救、治安维持、应急物品运送与分派、卫生管理、应急沟通、心理疏导等救援工作。在应急救援人员的派遣决策中,事先制定的应急预案可为应急决策者提供指导性的人员安排计划,但鉴于突发

事件的复杂性和不确定性,对于同类型的突发事件而言,其周边环境、危害程度、演进路径等也不尽相同,人们难以事先在应急预案中精确地规划出人员派遣的细节。因此,应急决策者需要根据当前突发事件的具体特征和实时数据,对应急救援人员进行合理的分派。

第三节 研究目标与研究意义

本书在应急决策问题与应急决策方法已有研究成果的基础上,探讨并给出考虑随机变量形式属性值的应急决策方法选择、基于属性关联的应急方案选择方法、考虑期望的应急决策方法、基于案例决策理论的应急决策方法和考虑多救援点的突发事件应急救援人员派遣方法。在研究过程中遵循由浅入深、由易到难、循序渐进、由理论到实践的思路。本书的研究目标与研究意义如下:

一、研究目标

针对上述需要研究的问题,确定本书研究的总体目标如下:在总结与分析国内外相关研究的基础上,形成科学的、有理论与实际价值的应急决策问题研究体系;给出应急救援时间满意度函数的刻画方法;针对考虑随机变量形式的属性值且属性关联的应急方案选择问题、考虑期望的应急风险决策方法选择问题、基于案例决策理论的应急决策方法选择问题、考虑多救援点的突发事件应急救援人员派遣问题,选用合适有效的工具、手段和方法来解决问题,给出了考虑不同情况的应急决策问题模型及方法。本书的具体研究目标如下:

(1) 在理论层面,通过对应急决策问题进行提炼和分类,给出考虑随机变量形式的属性值的突发事件应急预案选择问题、考虑属性关联的应急预案的选择问题、考虑期望的应急风险决策方法选择问题、基于案例决策理论的应急决策方法选择问题和考虑多救援点的突发事件应急救援人员派遣问题的描述方法以及解决问题的研究框架,为进一步研究应急决策问题奠定理论基