




突发性灾害事件下

应急物资分配决策理论与方法

庞海云 著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社



突发性灾害事件下

应急物资分配决策理论与方法

庞海云 著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

突发性灾害事件下应急物资分配决策理论与方法 /
庞海云著. —杭州:浙江大学出版社, 2015. 11

ISBN 978-7-308-15181-8

I. ①突… II. ①庞… III. ①灾害—突发事件—物资
分配计划—应急对策—研究—中国 IV. ①X4 ②F259.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 232549 号

突发性灾害事件下应急物资分配决策理论与方法

庞海云 著

责任编辑 黄兆宁

责任校对 陈慧慧 秦 瑕

封面设计 周 灵

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 杭州日报报业集团盛元印务有限公司

开 本 710mm×1000mm 1/16

印 张 11.75

字 数 221 千

版 印 次 2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-15181-8

定 价 30.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcs.tmall.com>

序

近年来,突发性灾害事件频发,如2004年的印度洋地震及引发的海啸、2005年美国卡特里娜飓风、2008年的中国汶川地震、2010年海地地震、2011年日本地震、2015年尼泊尔地震……这些灾害事件给人类社会造成的灾害损失越来越大,因此无论是在实践中,还是在理论上,如何加强应急管理越来越成为社会关注的焦点。

在应急管理实践中,我国为了加强应急能力建设,制定了一系列的法律、法规和规范性文件。2007年8月30日,中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员会第二十九次会议审议通过了《中华人民共和国突发事件应对法》,国务院先后制定或通过了《国家突发公共事件总体应急预案》、《国务院关于全面加强应急管理工作的意见》、《“十一五”期间国家突发公共事件应急体系建设规划》等规范性文件,进一步完善了应急政策体系,有效地规范了突发事件应对活动。

在理论界,灾害事件发生后的应急物资分配决策是应急管理理论乃至应急决策理论体系中一个重要的现实课题。比如,2009年8月,国家自然科学基金委员会联合管理科学部、信息科学部、生命科学部,以非常规突发事件应急管理为研究对象,启动了重大研究计划“非常规突发事件应急管理研究”(总经费为8000万元,执行期6年)。该项目面向重大突发事件应急管理基础科学的重大需求,按照“有限目标、稳定支持、集成升华、跨越发展”的思路,在非常规突发事件的特殊约束下,重点解决应急管理的三个方面重大科学问题:非常规突发事件的复杂性建模与应急决策理论,应急决策中的信息处理与知识发现,紧急状态下个体和群体行为反应的生理及心理学基础。

庞海云博士是我指导的最后一个在职博士生,她于2009年秋季以优异的成绩加入我的研究团队,入学后就开始关注应急物流方面的研究。在校期间,作为研究骨干参与了我主持的国家自然科学基金面上项目“城市应急物流不完

全扑灭的多商品分配问题研究”、国家自然科学基金重大研究计划培育项目“基于组群信息刷新的非常规突发事件资源配置优化决策研究”，并先后在《控制与决策》、《浙江大学学报(工学版)》、《城市规划》等一级刊物上发表了多篇高水平学术论文，于2013年3月顺利完成博士学业。毕业后，庞海云博士主持承担了浙江省哲学社会科学规划课题重点项目“突发性灾害事件下应急物资分配决策过程研究”等多个相关项目的研究工作，对应急物流的研究更加专注和深入。我很高兴地看到，作为上述国家自然科学基金项目、省社科重点项目的系列研究成果，庞海云博士的专著《突发性灾害事件下应急物资分配决策理论与方法研究》即将出版。

本书是国内为数不多的关于应急物资分配决策理论方法方面的专著。与同类书相比，本书具有以下几个创新特点：第一，研究对象面向突发性灾害事件应急管理核心，即应急物资分配决策的原理和方法研究。第二，理论研究部分论述应急物资分配决策的内涵和特点，分析应急物资分配决策的过程特性，找出决策过程中的关键环节。第三，方法研究部分针对几个关键环节，着重论述应急物资需求预测模型、应急物资最优分配模型和分配效果评价模型。本书可为高等院校、科研院所从事应急和风险管理、公共管理、物流管理等专业的教师、研究人员和研究生提供参考，也可供政府应急救援和管理部门的技术人员参考。

浙江大学管理学院教授、博士生导师 刘南

2015年7月1日写于杭州

前 言

突发性灾害事件在中国及全球范围内频发,对社会经济造成了极大破坏,应急管理及相关决策支持系统的研究和开发已经成为应对日益严峻的突发性灾害事件的迫切需要。由于应急物资分配是突发性灾害事件救灾的关键,作为应急管理和应急物流管理的重要分支,应急物资分配决策的研究已经成为国内外学术界研究的热点问题。

本书首先在分析当前国内外关于应急决策和应急物资管理的研究现状的基础上,提出了能有效保障突发事件应急救援的应急物资需求的基于全过程的优化分配决策思路;然后深入研究应急物资管理及应急物资分配决策的科学内涵,剖析应急物资分配决策的特点和决策过程;最后对需求预测、分配决策和方案评价整个决策过程进行系统研究,为应急决策机构和人员提供了应急物资分配的预测模型、分配决策模型、评价模型以及相关算法。

本书的研究内容与创新点主要包括:

(1) 应急物资分配决策特性分析

研究应急物资分配决策系统的内涵以及构成要素,从系统构成要素的角度研究应急物资分配决策的特点,设计了应急物资分配决策过程。认为应急物资分配决策是一个动态的决策过程,应急物资分配决策系统是一个由多个阶段组成的循环系统。每一个决策周期,应该包含完整的信息收集、分配决策、方案评价、方案实施四个阶段。

(2) 应急物资需求预测模型研究

总结应急物流情景下与一般物流情景下的物资需求预测方法的不同之处,提出在突发性灾害事件发生后的黄金救援时间内,对应急物资需求预测应该采用间接预测的方法,即先预测伤亡人口数量,再预测应急物资需求量。设计了需求预测的四个步骤,包括定性分析伤亡人口相关因素、定量分析伤亡人口相关因素、BP(Back Propagation)神经网络模型预测伤亡人口数量和应急物资需

求预测。针对预测过程中的四个步骤提出系列模型,并以大型地震中应急物资需求预测为例对各个步骤进行了阐述。

(3) 应急物资最优分配模型研究

模型研究分三个阶段进行:

第一阶段是拥有二级节点网络的分配模型的构建。针对救援物资在短时间内不能全部满足灾害事件产生的应急需求,提出不完全扑灭灾情的策略,构建了以受灾点为局中人,以分配方案为策略集的完全信息非合作博弈模型。为了解决节点和分配量过多导致策略集过大的问题,采用分步规划法,即第一步以响应时间最短为目标对受灾点独立进行初始分配,第二步针对发生冲突的受灾点建立博弈模型。通过构建适应度函数,提出用粒子群优化算法求模型的纳什均衡解。用一个数值算例来验证模型的有效性,结果表明该模型在解决供需不平衡的应急物资分配问题时,可以兼顾救援中的效率与公平,反映出较好的救灾效果。

第二阶段在由多个应急物资救援点、多个受灾点组成的二级节点的分配网络的基础上,提出具有多种物资组织策略的分配网络。构建了以受灾点系统损失最小为目标,考虑公平约束、需求量约束、供应约束、动力约束等约束的应急物资分配决策模型,该模型的决策变量是三维决策变量,解决从不同救援点到不同受灾点运输不同应急物资的运输量是多少的问题,模型中构造的系统损失函数考虑了各种应急物资的重要性和各受灾点对物资的需求紧迫性,以及受灾程度。在理论上证明了该模型是凸规划后,提出用 Matlab 优化工具箱的 `fmincon` 函数求解模型的思路 and 具体步骤,这种求解方法具有速度快且没有初解依赖性,能够得到全局最优解的优点,最后用一个算例证明模型和求解方法的有效性。

第三阶段是拥有三级节点网络的分配模型构建。综合考虑我国应急管理实践、应急响应时间限制,以及应急物资分配中的公平要求,在三级应急物资运输网络的基础上,建立了以系统损失最小为目标的应急物资分配决策模型。针对模型的整数非线性规划的特点提出了改进粒子群 (Particle Swarm Optimization, PSO) 算法,通过在不同维度上确定不同学习对象,加强了粒子的空间搜索能力。数值算例验证了模型和算法的有效性。

(4) 应急物资分配方案评价模型研究

首先分析了对应急物资分配方案评价应遵循的原则,分析公平与效率之间的辩证关系,认为对应急物资分配方案的评价应强调公平原则;然后分析公平、公平分配的含义,以及应急物资公平分配的内涵;最后建立了计算简便、容易理解且性能较好的应急物资分配决策方案公平测度模型。该模型考虑了受灾点

的不同需求量要求以及对物资的不同需求紧迫程度,并应用模型对三级节点算例的分配方案进行评价。

(5) 应急物资分配决策对城市安全防灾规划的影响研究

把应急物资分配的主要因素考虑到事前的防灾规划中能起到事半功倍的效果。各种突发性灾害事件对城市的影响效果被非线性扩大,城市的安全防灾规划更应加强。以东日本大地震的应急救援为案例,分析日本在城市安全防灾规划中应急物资储备库建设、应急物资储备、城市防灾绿地建设等方面的深刻教训和成功经验,对我国各大城市在制定安全防灾规划有着十分重要的启示和借鉴作用。提出我国要充分重视城市安全防灾规划中的应急物资分配问题,加强城市应急物资的储备与管理,做好应急物资储备库、防灾绿地的选址和建设

工作。对上述问题的研究,可以为突发性灾害事件下的应急物资分配决策提供科学依据,从而提高应急物流及应急物资保障系统的运作效率,减少由于灾害造成的人员伤亡和财产损失。

本书研究内容是在国家自然科学基金面上项目“城市应急物流不完全扑灭的多商品分配问题研究(70771100)”、国家自然科学基金重大研究计划培育项目“基于组群信息刷新的非常规突发事件资源配置优化决策(90924023)”、浙江省哲学社会科学规划课题重点项目“突发性灾害事件下应急物资分配决策过程研究(12JCGL01Z)”、杭州市哲学社会科学规划课题重点项目“城市应急物资分配博弈模型研究(A11GL02)”等资助下完成的。在本书研究和写作过程中,浙江科技学院经管学院管理科学与工程系的同事给予了莫大的支持和帮助,在此深表谢意。

本书在写作过程中参考借鉴了部分国内外有代表性的研究成果,作者已尽可能在参考文献中列出,在此对这些研究学者表示真挚的感谢!

限于作者的学术水平,书中不足之处恳请同行和读者不吝指正。

庞海云

2015年6月于浙江科技学院

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 研究背景、意义及目的	1
一、研究背景	1
二、研究意义	3
三、研究目的	5
第二节 主要研究内容、研究方法和技术路线	6
一、主要研究内容	6
二、研究方法和技术路线	7
三、全书结构	7
第三节 研究创新	10
一、研究视角与理论观点的创新	10
二、研究内容与研究方法的创新	10
第二章 相关理论与文献综述	12
第一节 应急物资分配在应急管理体系中的位置	12
第二节 应急决策相关研究	16
一、国内研究现状	16
二、国外研究现状	18
三、本书研究与应急决策研究的联系与区别	20
第三节 应急物资管理相关研究	20
一、选址和配置研究	21
二、存储和补充研究	23
三、调度和分配研究	25
四、本书研究与应急物资管理研究的联系与区别	30

第四节	应急物资需求预测相关研究	30
一、	物资配置阶段的应急物资需求预测	31
二、	物资分配阶段的应急物资需求预测	32
第五节	应急物资分配方案评价相关研究	35
一、	应急物资分配效果的评价	35
二、	公平评价的研究现状	35
第三章	应急物资分配决策原理研究	39
第一节	应急物资分配决策概述	39
一、	应急物资分配决策的含义	39
二、	应急物资分配决策体系的架构	41
三、	应急物资分配决策体系的构成要素分析	42
第二节	应急物资分配决策的特点分析	52
一、	决策主体的多元性	53
二、	决策客体的复杂性	54
三、	决策目标的时间性	57
四、	决策制定的协调性	58
五、	决策模式的非程序性	58
六、	决策方案的权变性	58
七、	决策效果的有效性	59
第三节	应急物资分配决策的过程分析	59
一、	信息收集阶段	60
二、	物资分配决策	67
三、	分配方案评价	68
四、	方案实施阶段	68
第四节	本章小结	68
第四章	应急物资需求预测过程设计及预测过程系列模型	70
第一节	应急物资需求预测过程设计	70
一、	间接预测应急物资需求量的思路	70
二、	应急物资需求预测过程	71
第二节	基于灾害系统构成要素的灾区人口伤亡定性关联分析	72
一、	致灾因子	72
二、	承灾体	74

三、孕灾环境	76
四、灰色关联分析的变量确定	77
第三节 基于灰色关联分析的灾区人口伤亡相关因素定量关联分析	78
一、灰色关联分析的原理和步骤	78
二、地震伤亡人口相关因素的灰色关联分析	80
第四节 基于BP神经网络的灾区人口伤亡预测模型	81
一、BP神经网络预测的原理与方法	81
二、BP神经网络预测地震灾害中的人口伤亡	84
第五节 基于需求物资种类的灾区应急物资需求量预测模型	87
一、应急物资需求量预测需要考虑的因素	87
二、应急物资需求量预测模型	88
第六节 本章小结	89
第五章 基于博弈模型的二级节点网络应急物资分配决策模型	90
第一节 博弈模型在应急物资分配决策中的应用原理及本章研究思路	90
一、博弈论在应急物资分配决策中的应用原理	90
二、本章研究思路	92
第二节 模型假设及问题描述	92
一、模型假设	92
二、问题描述	93
第三节 基于不完全扑灭的单种物资分配的非合作博弈模型	93
一、将供需不平衡转化成供需平衡	93
二、定义响应时间	94
三、定义局中人及其策略	95
四、定义支付矩阵	96
五、寻找纳什均衡解的方案	97
第四节 博弈模型的应用研究	98
一、基于不完全扑灭的应急物资分配算法设计	98
二、数值算例	99
第五节 本章小结	102

第六章 基于多种应急物资需求的二级网络分配决策模型	104
第一节 网络构建及本章研究思路	104
一、网络构建	104
二、本章研究思路	104
第二节 问题的描述及假设	105
一、问题的描述	105
二、模型假设	106
第三节 模型的建立	106
一、决策变量	106
二、目标函数	106
三、约束条件	108
第四节 模型求解分析	109
一、利用 Matlab 语言求解模型思路	109
二、证明模型是凸规划模型	109
三、用 fmincon 函数求解模型的步骤	109
第五节 模型应用举例	110
一、参数设置	110
二、模型求解	111
三、公平约束条件的作用分析	112
四、灾情指数的影响分析	112
第六节 本章小结	113
第七章 三级节点网络应急物资分配决策模型	114
第一节 网络构建及本章研究思路	114
一、三级节点网络构建	114
二、本章研究思路	115
第二节 问题的描述及假设	116
一、问题的描述	116
二、模型假设	116
第三节 三级节点网络应急物资分配决策模型的构建	117
一、符号说明、参数和决策变量	117
二、数学模型	118
第四节 改进粒子群优化算法	119
一、模型特点与粒子群优化算法	119

二、改进粒子群算法设计	120
第五节 数值算例	123
一、参数设置	123
二、模型求解	124
三、算法性能分析	125
第六节 本章小结	126
第八章 应急物资分配决策方案公平测度模型	128
第一节 方案评价原则分析	128
第二节 公平及应急物资公平分配的含义	129
第三节 应急物资分配公平测度模型	130
一、问题描述	130
二、公平测度模型	130
三、模型应用	133
第四节 本章小结	135
第九章 应急物资分配决策对城市安全防灾规划的影响	136
第一节 城市安全防灾规划	136
一、城市安全防灾规划概述	136
二、城市安全防灾规划研究现状	137
第二节 东日本大地震中应急物资分配对城市安全防灾规划的启示	138
一、日本城市应急物资储备库状况	138
二、日本城市应急物资储备状况	139
三、日本城市防灾绿地状况	140
四、启示:应急物资调度是城市安全防灾规划中的重要因素	141
第三节 我国城市安全防灾规划充分考虑应急物资分配的实现途径	141
一、重视应急物资储备库的建设与选址	141
二、强调应急物资的储备与管理	142
三、加强防灾绿地的建设和布局	142
第四节 本章小结	143

第十章 总结与展望	144
第一节 全书总结	144
第二节 研究展望	146
参考文献	147
附 录	159
索 引	169

表目录

表 2.1	不公平指标及其性质	37
表 3.1	应急物资类别	55
表 3.2	不同类型的突发事件对应的物资需求	55
表 3.3	5月17日紧缺物资需求信息汇总	56
表 3.4	上海市区域灭火救援力量响应时间与每起具有潜在人员伤亡的居民火灾死亡率的关系	57
表 3.5	道路损失评估结果	67
表 4.1	受伤人口预测实际值误差	86
表 4.2	死亡人口预测实际值误差	87
表 5.1	局中人的支付矩阵	96
表 5.2	各救援点到各受灾点的运输表	100
表 5.3	各救援点到各受灾点的道路破坏率	100
表 5.4	各救援点到各受灾点的响应时间(单位:h)	100
表 5.5	受灾点 P_1 的支付矩阵	101
表 5.6	受灾点 P_4 的支付矩阵	101
表 5.7	受灾点 P_5 的支付矩阵	101
表 6.1	各受灾点的应急物资需求情况(单位:t)	110
表 6.2	救援点可供应的应急物资情况(单位:t)	110
表 6.3	救援点到各受灾点的运力情况(单位:t)	110
表 6.4	差异系数 ω_{jk}	111
表 6.5	$\alpha=2$ 时的最优解(单位:t)	111
表 6.6	$\alpha=2$ 时的最优解——无公平约束(单位:t)	112
表 6.7	不同 α 值时的损失函数的最优取值比较	112
表 7.1	各集散点到各配送中心的运输距离 d_{ij} (单位:km)	123

表 7.2	各配送中心到各受灾点的运输距离 d_{jk} (单位:km)	124
表 7.3	各集散点到各配送中心的道路破坏率 γ_{ij}	124
表 7.4	各配送中心到各受灾点的道路破坏率 γ_{jk}	124
表 7.5	从各集散点配送应急物资到各配送中心的量 x_{ij}	124
表 7.6	从各配送中心分配应急物资到各受灾点的量 y_{jk}	125
表 7.7	改进 PSO 与其他算法优化性能比较	126
表 8.1	具有公平约束的模型求解分配方案公平性评价	134
表 8.2	不具有公平约束的模型求解分配方案公平性评价	134

图目录

图 1.1	本书研究的技术路线	8
图 2.1	突发事件应急管理保障体系构成	13
图 2.2	应急物资管理体系	14
图 3.1	应急物资分配决策体系的架构	41
图 3.2	应急物资分配决策者的受力模型	43
图 3.3	应急物资分配决策的过程	61
图 3.4	2008 年汶川地震后报道死亡人数随时间的变化	62
图 3.5	2004 年印度洋地震海啸报道死亡人数随时间的变化	63
图 3.6	2011 年东日本大地震和海啸报道死亡人数随时间的变化	63
图 3.7	灾害系统构成要素	65
图 4.1	突发事件应急物资预测过程	71
图 4.2	一个典型的 BP 神经网络	82
图 4.3	BP 算法流程	83
图 4.4	BP 训练结果	86
图 4.5	归一化数据的预测误差	86
图 5.1	应急物资分配二级节点网络	90
图 5.2	应急物资分配算法流程	99
图 6.1	拥有多种物资组合的二级节点分配网络	105
图 7.1	拥有三级节点的应急物资分配网络	114
图 7.2	基本 PSO 算法流程	120
图 7.3	改进 PSO 算法流程	122
图 7.4	改进 PSO 目标函数最优值的分布	125
图 7.5	改进 PSO 与其他算法收敛曲线比较	126