

# 非常规突发事件复杂应急资源分配 网络优化调度和配置研究

陈晓平 葛 敏 著

上海科学技术出版社

---

图书在版编目(CIP)数据

非常规突发事件复杂应急资源分配网络优化调度和配置研究 / 陈晓平, 葛敏著. —上海: 上海科学技术出版社, 2017. 3

ISBN 978-7-5478-3461-9

I. ①非… II. ①陈… ②葛… III. ①突发事件—公共管理—研究—中国 IV. ①D63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 026287 号

---

非常规突发事件复杂应急资源分配网络优化调度和配置研究  
陈晓平 葛敏 著

上海世纪出版股份有限公司 出版  
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行  
200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 11.5

字数 250 千字

2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-3461-9/D·3

定价: 49.80 元

---

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题, 请向工厂联系调换

本书的出版获得以下项目的资助：

1. 国家自然科学基金资助项目“异质节点行为下银行生态网络的危机传染与免疫控制”(编号：71301063)。
2. 江苏理工学院自然科学基金项目“基于复杂应急网络拓扑结构的应急资源系统优化调度和配置研究”(编号：KYY14004)。
3. 江苏省高校优秀中青年教师和校长境外研修计划项目(2014)。
4. 2013年江苏省“333 高层次人才培养工程”(编号：(2013)Ⅲ-2110号)等项目的研究成果。



# 内容提要

伴随现代社会系统内部复杂非线性作用和耦合程度不断增强,一些局部性、常规的突发公共事件,已经越来越容易演变成具有更强危害性的非常规突发事件。非常规突发事件的频繁发生,已经对人类生存和社会发展造成了重大威胁。

本书稿通过综合系统科学、管理学、灾害学、应急管理理论、最优化理论等多学科理论和方法,探究非常规突发事件发生后的复杂应急资源网络优化调度和配置问题,对于提高应急资源网络的管理效率,提升非常规突发事件应急管理能力,具有极其重要的意义。

本书除了第1章绪论和第2章国内外相关研究进展外,共分为三大部分。

第一部分由第3章组成。这一部分主要是运用突发公共事件管理理论、灾害学理论、系统演化理论和生命周期理论。首先明晰了非常规突发事件的概念、要素、特征和分类;其次阐述了非常规突发事件应急资源的概念、特征、分类和筹集策略;最后是基于系统论的视角分析了非常规突发事件发生后的应急资源分配网络调度和配置系统内涵,在此基础上,解释了其与一般资源分配系统的区别;阐述了该系统具有的特征,及其网络总体宏观结构和应急出救点到原生和次生灾害受灾点之间的网络微观结构;论述了非常规突发事件复杂应急资源分配网络的调度和配置系统运作具体流程。

第二部分由第4章和第5章组成。这一部分主要是运用运筹学和最优化理论,结合非常规突发事件灾害链的特征,对具有双层复杂网络拓扑结构(多个应急出救点—多个原生和次生灾害受灾点)的应急资源分配网络,分别构建了单周期(静态)和多周期(动态)的两个复杂应急资源分配网络优化调度模型。

第三部分由第6章和第7章组成。这一部分主要是运用模糊理论、运筹学和最优化理论,在增加非常规突发事件中应急资源供求模糊情景的基础上,对具有三层网络拓扑结构(多个应急出救点—多个应急资源集散中心—多个原生和次生灾害受灾点)的复杂应急资源分配网络优化调度问题进行研究。

本书可为政府相关应急管理部门科学决策提供模型支持和科学依据,可为从事应急管理研究的学者提供学术研究参考,也可作为本科院校应急管理专业方向师生的参考阅读书。

# 前 言

世界文明的进化史,是一部同各种灾害斗争的历史。日新月异的科技发展,改变了人类认识、预警和应对灾害的能力,一些灾害已经可以实现提前预报。然而,伴随经济全球化和工业现代化进程的不断深入,新的“不安”与“无序”也随之而来。现代社会系统内部复杂非线性作用和耦合程度的不断增强,使得各类自然和人为的突发公共灾害依然伴随我们左右,并且一些局部性、常规的突发公共事件,已经越来越容易演变成具有更强危害性的非常规突发事件。

当非常规突发事件发生时,受灾地区会产生大量应急资源需求,以期保障最基本的生存需要。因此,应急资源作为事件处置过程中最重要的物质基础,不仅是应急救援的必要条件,而且是减少由于饥饿、疫病等次生灾害发生所必需的保障性物资。在实际应急救援中,现有应急资源优化调度和分配方法仍然存在诸多问题,具体的如:应急资源调配不及时、资源供需失衡和分配公平性还有待改善等。因此,作为非常规突发事件应急管理的一个重要组成部分,应急资源的快速、优化调度和配置已经是影响灾害救助的关键环节。如何在灾害发生后的第一时间,科学合理地进行应急资源的分配和调运的动态快速响应,在一定程度上决定了非常规突发事件应急管理的成败。

现阶段的非常规突发事件应急资源优化配置问题研究,主要可以分为两大类:一类是事件发生之前的应急资源配置;另一类是事件发生之后的应急资源配置。本书主要是以事件发生之后的应急资源配置为研究对象,以事件发生后的应急资源优化调度和配置为研究主题,尝试对以下问题进行探讨并进行解答:非常规突发事件的概念、要素、特征和分类如何厘清;

如何描述非常规突发事件的应急资源概念、特点、分类和筹集策略;如何从系统理论视角,对非常规突发事件发生后的复杂应急资源分配网络调度和配置系统的内涵、特征、结构和运作流程进行分析;在上述复杂应急资源分配网络优化调度和配置系统构建基础上,如何在进行非常规突发事件发生后的复杂应急资源分配网络调度和配置模型构建时,体现其原生、次生灾害链的易生性以及运输路网的动态变化性;如何增加对其复杂应急资源分配网络供给和需求不确定性、多资源种类、运输工具多样性等特征的考虑?如何考虑不同层次复杂网络拓扑结构对应急资源优化调度和配置的影响;如何选择合理、有效、公平的应急资源优化调度和配置目标函数,构建单周期(静态)和多周期(动态)非常规突发事件复杂应急资源分配网络的优化调度和配置模型,这些都是需要进一步探讨的问题。

本书除了第1章绪论和第2章国内外相关研究进展外,共分为三大部分。

本书的第一部分由第3章组成。第3章主要是运用突发公共事件管理理论、灾害学理论、系统演化理论和生命周期理论,一是明晰了非常规突发事件的概念、要素、特征和分类;二是阐述了非常规突发事件应急资源的概念、特征、分类和筹集策略;三是基于系统论的视角,在分析非常规突发事件发生后的应急资源分配网络调度和配置系统内涵基础上,解释了其与一般资源分配系统的区别;阐述了该系统具有的特征,以及其网络总体宏观结构和应急出救点到原生和次生灾害受灾点之间的网络微观结构;论述了非常规突发事件复杂应急资源分配网络的调度和配置系统运作具体流程。

本书的第二部分由第4章和第5章组成。这一部分主要是运用运筹学和最优化理论,结合非常规突发事件灾害链的特征,对具有双层复杂网络拓扑结构(多应急出救点—多受灾点)的应急资源分配网络,分别构建了单周期(静态)和多周期(动态)的两个复杂应急资源分配网络优化调度模型。具体地:

第4章,基于灾害链、多资源和多运输模式的双层复杂应急资源分配网络的优化调度和配置模型。首先针对非常规突发事件特征,基于灾害链情景,在考虑应急资源紧迫度基础上,以应急时间最短为主要目标函数,以运输费用最小为次要目标函数,构建了单周期、双重目标函数、多运输方式、拥有双层复杂网络拓扑结构(多个应急出救点—多个原生和次生灾害受灾点)的应急资源分配网络优化调度和配置模型;其次,针对本章模型中两个带有序关系的的目标函数和相关约束条件,设计了一种改进的多资源分类调度启发式算法对模型进行求解,并进行了算例研究。

第5章,基于灾害链、受灾人员损失和多周期的双层复杂应急资源分配网络的优化调度和配置模型。首先阐述了本章研究的基本问题,即:在第4章模型基础上,研究增加了受灾人员损失最小化这一目标函数,以及多周期(动态)情景的非常规突发



事件复杂应急资源分配网络的优化调度和配置问题;其次,在进行模型基本假设以及描述模型相关参数和变量基础上,构建了多周期、多资源、三重目标函数、多运输方式的双层复杂应急资源分配网络的动态优化调度和配置模型;之后,设计了一种基于应急限制期的多周期、多资源分类调度启发式算法,对模型进行了求解和相关算例验证。

本书的第三部分由第6章和第7章组成。这一部分主要是运用模糊理论、运筹学和最优化理论,在增加非常规突发事件中应急资源供求模糊情景基础上,对具有三层网络拓扑结构(多个应急出救点—多个应急资源集散中心—多个原生和次生灾害受灾点)的复杂应急资源分配网络优化调度问题进行研究。具体地是:

第6章,基于灾害链、应急限制期和模糊供求的三层复杂应急资源分配网络的优化调度和配置模型。首先,以应急时间最短和各个受灾点资源需求量满足度最大为主要目标函数,以运输费用最小为次要目标函数,构建了基于灾害链、应急限制期和模糊供求的三层复杂应急资源分配网络的优化调度和配置模型;其次,在对多目标函数进行转化和对相关参数进行去模糊化处理的基础上,给出了具体算法,并进行了相关算例的分析。

第7章,基于灾害链、模糊供求和多周期的三层复杂应急资源分配网络的动态优化调度和配置模型。首先,考虑到跟各个受灾点资源需求量满足度最大的目标函数相比,受灾人员损失最小化目标函数能体现出灾害级别和应急资源的重要性差异,用受灾人员损失最小替代了第6章中的受灾点资源需求量满足度最大的目标,并增加了多周期(动态)的拓展,构建了基于灾害链、模糊供求和多周期的三层复杂应急资源分配网络的动态优化调度和配置模型;其次,基于应急限制期约束对模型的多目标函数进行了转化,对相关参数进行了去模糊化处理,在此基础上给出了具体算法,并且用算例验证了模型和算法的有效性和可行性。

本书稿的完成凝聚了很多的关心、支持和帮助。感谢东南大学何建敏教授和庄亚明教授、南京大学刘春林教授、河海大学吴凤平教授等所给予的诸多宝贵的、建设性的建议。基于本书论题的复杂性,限于作者视野有限,书中的许多观点和方法难免存在不妥之处,殷切希望各位专家、学者和读者不吝批评指正。

编者

2017年1月



# 目 录

1	绪论	001
1.1	研究背景	002
1.1.1	现代社会内生脆弱性对应急管理实践的需求	002
1.1.2	非常规突发事件应急资源管理理论研究的需求	005
1.2	问题的提出和研究意义	006
1.2.1	问题的提出	006
1.2.2	研究意义	008
1.3	研究思路和技术路线	009
1.3.1	研究思路	009
1.3.2	技术路线	010
1.4	研究内容和主要创新点	010
1.4.1	研究内容	010
1.4.2	主要创新点	013
2	国内外相关研究进展	016
2.1	非常规突发事件研究进展	016
2.1.1	信息处理与演化规律建模	017
2.1.2	个体和群体的心理与行为反应规律	020
2.1.3	非常规突发事件的应急决策理论	021
2.1.4	研究述评	026
2.2	突发公共事件应急资源优化配置管理实践进展	026
2.2.1	国内外总体概况	026
2.2.2	美国的实践	029
2.2.3	日本的实践	031

2.2.4	俄罗斯的实践 .....	032
2.2.5	中国的实践 .....	034
2.3	突发公共事件应急资源优化配置理论研究进展 .....	035
2.3.1	应急资源有效需求分析 .....	036
2.3.2	应急资源的合理布局 .....	037
2.3.3	应急资源的调度和分配 .....	040
2.4	已有研究的总体评析 .....	046
	小结 .....	047
<b>3</b>	<b>非常规突发事件应急资源分配网络调配系统 .....</b>	<b>048</b>
3.1	非常规突发事件概念、要素、特征和分类 .....	048
3.1.1	事件的概念 .....	048
3.1.2	事件的要素 .....	052
3.1.3	事件的特征 .....	053
3.1.4	事件的分类 .....	056
3.2	非常规突发事件的应急资源 .....	058
3.2.1	应急资源的概念 .....	058
3.2.2	应急资源的分类 .....	059
3.2.3	应急资源的特点 .....	060
3.2.4	应急资源筹集策略分析 .....	060
3.3	非常规突发事件应急资源分配网络优化调度和配置系统 .....	061
3.3.1	系统的内涵 .....	061
3.3.2	系统的特征 .....	062
3.3.3	系统的网络拓扑结构 .....	065
3.3.4	系统的供需分析 .....	067
3.3.5	系统的运作流程 .....	068
	小结 .....	070
<b>4</b>	<b>基于灾害链和多运输模式的双层复杂应急资源分配网络优化调配 .....</b>	<b>071</b>
4.1	问题描述 .....	071
4.2	模型构建的基本假设 .....	073
4.3	模型构建 .....	073
4.3.1	参数与变量 .....	073
4.3.2	模型 .....	074

4.4	算法设计 .....	075
4.4.1	相关定义 .....	076
4.4.2	算法思路 .....	077
4.4.3	算法步骤 .....	078
4.5	算例分析 .....	080
4.5.1	算例选择 .....	080
4.5.2	模型相关参数 .....	081
4.5.3	模型算法求解 .....	085
	小结 .....	089
<b>5</b>	<b>基于灾害链、受灾人员损失和多周期双层复杂应急资源分配网络动态 优化调配 .....</b>	<b>090</b>
5.1	问题描述 .....	090
5.2	模型构建的基本假设 .....	091
5.3	模型构建 .....	092
5.3.1	参数与变量 .....	092
5.3.2	模型 .....	093
5.4	算法设计 .....	095
5.4.1	相关定义 .....	096
5.4.2	算法思路 .....	097
5.4.3	算法步骤 .....	100
5.5	算例分析 .....	101
5.5.1	算例选择 .....	101
5.5.2	模型相关参数 .....	101
5.5.3	模型算法求解 .....	107
	小结 .....	113
<b>6</b>	<b>基于灾害链和模糊供求的三层复杂应急资源分配网络优化调配 .....</b>	<b>114</b>
6.1	问题描述 .....	114
6.2	模型构建的基本假设 .....	115
6.3	模型构建 .....	116
6.3.1	参数与变量 .....	116
6.3.2	模型 .....	118
6.4	模型求解算法 .....	120

6.4.1	目标函数转化 .....	120
6.4.2	相关参数去模糊化处理 .....	121
6.4.3	算法步骤 .....	122
6.5	算例分析 .....	122
6.5.1	算例选择 .....	122
6.5.2	模型相关参数 .....	123
6.5.3	模型求解 .....	129
	小结 .....	130
<b>7</b>	<b>基于灾害链、模糊供求和多周期的三层复杂应急资源分配网络动态 优化调配 .....</b>	<b>132</b>
7.1	问题描述 .....	132
7.2	构建模型的基本预设 .....	133
7.3	模型构建 .....	134
7.3.1	参数与变量 .....	134
7.3.2	模型 .....	136
7.4	模型求解算法 .....	140
7.4.1	目标函数转化 .....	140
7.4.2	相关参数去模糊化处理 .....	141
7.4.3	算法步骤 .....	142
7.5	算例分析 .....	142
7.5.1	算例选择 .....	142
7.5.2	模型相关参数 .....	143
7.5.3	模型求解 .....	149
	小结 .....	152
<b>8</b>	<b>研究展望 .....</b>	<b>154</b>
	参考文献 .....	155

# 1

## 绪 论

在《国家突发公共事件总体应急预案》中,突发公共事件是指突然发生,造成或者可能造成重大人员伤亡、财产损失、生态环境破坏和严重社会危害,危及公共安全的紧急事件。随着现代社会系统内部复杂非线性作用和耦合程度不断增强,一些局部性、常规的突发公共事件,已经越来越容易演变成具有更强危害性的非常规突发事件(unconventional emergency)。

进入 21 世纪以来,随着经济、社会的快速发展,人类的经济、社会活动也日趋频繁,资源的过度使用、大型工程项目的建设,加剧了对自然生态环境的负面影响,导致了地球气候变化的异常。与此同时,社会的复杂性及不稳定性的增强,进一步造成人口、资源、环境、公共卫生等方面的社会问题日益尖锐,各种自然灾害、公共卫生事件等非常规突发事件的爆发频率日趋频繁。

近年来,全球相继发生了 2001 年美国的“9·11”恐怖袭击事件,2003 年的“非典(SARS)”事件,2004 年末的印度洋海啸,2005 年全球禽流感和日本列车脱轨事故,2005 年卡特里娜飓风,2008 年中国的汶川特大地震、南方雨雪冰冻灾害和美国次贷引致的全球金融危机,2010 年海地、智利和中国玉树“4·14”的强震以及中国舟曲“8·8”特大泥石流灾害,2011 年日本地震海啸引发核灾难,2012 年云南彝良“9·7”大地震和甘肃岷县“5·10”特大冰雹山洪泥石流灾害,2013 年美国波士顿爆炸事件,2015 年尼泊尔地震……

非常规突发事件的频繁发生,在造成重大的人员伤亡、财产损失和生态环境破坏的同时,也对人类生存和社会发展带来了重大威胁。为了应对非常规突发事件带来的严重伤害和财产损失,世界各国政府已经高度关注非常规突发事件的应急管理工作。

非常规突发事件发生后,由于事件爆发具有不可预测性和突发性,其演化具有高度动态性和不确定性,受灾地区会产生大量应急资源(救灾人员和各类应急物资)需求,以减轻、转移灾难所带来的威胁,确保公共卫生、安全及财产。因此,作为非常规突发事件应急资源管理的一个重要组成部分——应急资源快速、优化调度和配置,是提高灾害救助的关