

浙江省社科规划课题成果

教育部人文社会科学研究青年基金项目资助

国家自然科学基金项目资助

国家自然科学基金“非常规突发事件应急管理”重大研究计划项目资助

基于应急系统特性分析的 应急物资分配优化决策 模型研究

陈达强 著

Study of Optimal Decision Models for
Emergency Material Allocation Based on
Systemic Characteristics Analysis

浙江工商大学出版社
ZHEJIANG GONGSHANG UNIVERSITY PRESS



清华大学出版社数字出版网站

数字版电子书、手机版电子书、网络版电子书、手机阅读版

清华大学出版社数字出版网站

清华大学出版社数字出版网站 清华大学出版社数字出版网站 清华大学出版社数字出版网站

基于信息系统特性分析的 应急物资分配优化决策

博士研究

清华大学 著

清华大学出版社

浙江省社科规划课题成果

教育部人文社会科学研究青年基金项目资助

国家自然科学基金项目资助

国家自然科学基金“非常规突发事件应急管理”重大研究计划项目资助

基于应急系统特性分析的应急 物资分配优化决策模型研究

陈达强 著

 浙江工商大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

基于应急系统特性分析的应急物资分配优化决策
模型研究/陈达强著.—杭州:浙江工商大学出版社,
2010.12

ISBN 978-7-81140-220-9

I. ①基… II. ①陈… III. ①自然灾害-救灾-物
资配送-最佳化-决策模型-研究 IV. ①X43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 238226 号

基于应急系统特性分析的应急 物资分配优化决策模型研究

陈达强 著

责任编辑 鲍观明 王如星

责任校对 张振华

封面设计 刘 韵

责任印制 汪 俊

出版发行 浙江工商大学出版社

(杭州市教工路 198 号 邮政编码 310012)

(E-mail: zjgsupress@163.com)

(网址: <http://www.zjgsupress.com>)

电话: 0571-88904980, 88831806 (传真)

排 版 杭州兴邦电子印务有限公司

印 刷 杭州余杭大华印刷厂

开 本 889mm×1194mm 1/32

印 张 8.5

字 数 250 千字

版 印 次 2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-81140-220-9

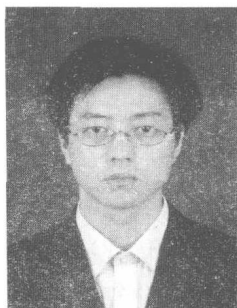
定 价 28.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江工商大学出版社营销部邮购电话 0571-88804227

作者简介

陈达强,男,1979年9月出生,浙江天台人,中共党员。现任教于浙江工商大学信息学院物流管理与工程系,主要从事应急物流优化、物流系统规划与管理、交通运输规划、供应链管理与优化决策等方面的教学科研工作。



2005年毕业于西南交通大学交通运输学院,师从蒲云教授,获交通运输规划与管理专业硕士学位,后于2010年9月毕业于浙江大学管理学院,师从刘南教授,获浙江大学管理学院博士学位。近年来在《管理科学学报》、《自然灾害学报》、《浙江大学学报》、《管理工程学报》等国内核心科技期刊发表论文共30余篇;参与并出版各类著作5部;主持省部级项目2项;参加国家自然科学基金项目4项。

内容提要

本书系统阐述了基于应急系统特性分析的应急物资分配优化决策的理论、模型方法以及求解算法。本书主要特色是从应急物资分配系统入手,强调物资的时变供求特性——即在灾情变化的不同阶段(主要指随时间变化)应急物资表现出不同的供求特点,分析其决策目标与约束条件,构建出符合实际应急运作的物资分配优化决策模型。通过分析模型可行解和最优解条件,设计求解优化算法,以便为解决现实应急物流运作中的物资分配问题提供理论依据和政策启示。

本书的研究内容主要包括:(1)总结了应急物流系统与应急物资分配的内涵和系统结构;(2)针对非时变供求约束情形,研究了存在成本修正和物资调运力限制约束的多出救点选择问题;(3)针对带时变供给约束情形,研究了多出救点选择问题;(4)针对带时变供求约束情形,研究了多出救点选择与单出救点、多需求点应急物资分配问题;(5)考虑时变供求与应急限制期约束,研究了多需求点应急物资分配模型;(6)在复杂网络环境下,研究了带时变供求约束的复杂网络(多出救点、多需求点)应急物资分配问题。通过对以上问题的研究,可为保障应急物资供应和应急物流运作提供智力支持和决策参考,实现应急物资分配决策的优化目标,从而最大限度地降低大规模自然灾害等突发事件对社会正常秩序的冲击,减少人员伤亡和财产损失。

本书可为指挥自然灾害应急救援的政府工作人员、专业技术人员提供相关决策的参考和依据,同时也可高等院校、科研院所从事灾害与应急和风险管理、管理科学与工程、公共管理、物流工程与管理等专业的教师、研究人员和研究生提供参考。

序

自人类社会诞生以来,就面临着各种各样的突发事件的考验,可以说,人类社会的发展历程就是不断回应各种突发事件的挑战过程。其中尤以对各种自然灾害的斗争最为壮丽,在此过程中,人类不断认识自然灾害事件的本质,不断总结其规律,力图最大限度地降低其对人类社会的破坏。尤其是近几年来,我国各种自然灾害频发,南方雪灾、汶川地震、西南大旱、玉树地震等,将应急管理推到国家安全体系的高度。在2008年7月国务院召开全国应急管理工作会议上,温家宝总理强调指出要“高度重视运用科技提高应对突发公共事件的能力,加强应急管理科学研究”。在各种应急救援努力中,应急物流的高效运作对救灾活动的成效有着举足轻重的作用,应急物流的建设与研究受到社会各界前所未有的高度关注,如2009年8月国家自然科学基金委员会联合管理科学、信息科学、生命科学等多个学部,以非常规突发事件应急管理为研究对象,启动重大研究计划“非常规突发事件应急管理研究”(总经费为8000万元,预计执行期为6年)。

由于其本身特性、物流条件、物资需求量和时间的紧迫性等限制,应急物流与常规物流有着明显的区别。后者主要是为了满足社会经济活动中消费者的需要,通过运输、保管、配送等方式,以最低的运作成本从起点到终点的原材料、半成品、成品及相关信息、资金的计划、实施与管理全过程;而前者则是在应急情形下,为满足受灾地区的应急救援需求,通过运输、仓储、配送等手

段将各类救援物资、设施、信息、资金及时有效地送达灾区的计划、实施和管理过程。

应急物流的特点,从其根源来看是由灾害的社会经济特征所决定,具有弱经济性。同时,应急物流的本源需求——应急需求,也决定了其与常规物流的差异。因此,理论界一般认为应急物流还具有以下三个特点:突发性、不确定性和非常规性。此外,还有许多学者认为应急物流的一般特点包括非预见性、需求的急迫性、时效性与多样性、政府与市场共同的参与性、应急物流供应的非经济性等四方面。尽管观点各不相同,但总的来说弱经济性、突发性、不确定性和时间紧迫性是应急物流最基本的特点。当前众多的应急物流研究也是基于上述特点有针对性地开展,如应急响应时间最小或应急响应开展时间最早是现有研究中最主要的目标之一。

当前应急物流的研究从内容上可以分为:应急物流体系/体制保障、应急物流预案、应急物流网络(含选址问题)、应急资源配置与调度(含应急物资分配与应急物流车辆路径)、应急物流绩效评估以及应急物流决策支持等方面。其中,高效的应急资源配置与调度对提升应对突发事件的科技水平和应急能力具有非常重要的意义。

虽然在近几年,我国各级政府在应对各类突发公共事件中做了大量卓有成效的工作,但在应对突发公共事件时表现出的一些被动局面,暴露出现有应急机制、法律法规、物资储备及响应优化决策等方面的不足;同时,我国属于自然灾害高发国家,公共卫生设施、国家处突的经验等方面均存在诸多亟待改进的地方。为构建社会主义和谐社会,保障人民群众的生命财产安全,不仅急需对应急物流的内涵、规律、机制、实现途径等进行系统研究,尤其需要对实现途径中的应急物资优化分配决策理论与方法进行更系统深入的研究,以提高应急物流的运作效率。

陈达强博士从 2006 年开始从事应急物流方面的研究,并作

为研究骨干参与了 2007 年国家自然科学基金面上项目“城市应急物流中不完全扑灭的多商品分配问题研究”、2009 年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”；并于 2010 年承担了教育部人文社会科学研究项目“应急物资供求特性分析及复杂网络分配优化决策研究”、浙江省哲学社会科学规划课题重点项目“巨灾应急物资供求特性分析与优化分配决策研究”等项目的研究工作。其研究工作重心一直关注于应急物流的核心——应急物资分配研究，并有多篇高水平论文在《自然灾害学报》等一级刊物上发表。

本书在陈达强博士论文《基于应急系统特性分析的应急物资分配优化决策模型研究》的基础上，总结了他近几年的研究成果，以“应急响应时间最早”、“参与出救点最少”为优化目标，考虑应急运作过程中的时变特性，将科学问题分解为非时变供求约束与带时变供求约束两个层面，涵盖系统响应成本修正、应急限制期与运力限制三大约束，涉及简单网络（多出救点、单需求点，单出救点、多需求点）与复杂网络（多出救点、多需求点）两个维度，并形成 7 个相关子问题予以解决，在研究视角上颇具新意，拓展了应急物资分配的研究思路，具有一定的创新性和实际参考价值。

总的来说，本书是国内论述应急物流与应急物资分配理论比较全面、深刻的专著。国内有关物流管理研究方面的书比较多，而应急物流方面的书比较少，以数理分析研究应急物资分配决策理论的书则更少。因此，本书不仅对应急物资分配问题的研究是一个贡献，对从事相关理论研究和实践工作的人也会有较大的帮助。相信陈达强博士会继续在该领域潜心研究，为应急物流研究做出贡献。

刘 南

2010 年 11 月于浙江大学

前 言

我国作为世界上受自然灾害影响最为严重的国家之一,长期深受各类自然灾害的侵扰,各种损失令人触目惊心。为了降低灾害损失、恢复灾区正常社会经济秩序和保障民众正常生活,各级政府和地区进行了各项应急系统建设工作,尤其是应急物流系统和应急物资储备与分配管理。从已有的研究成果分析来看,对因受灾系统的时间动态变化、出救点运力限制、应急限制期限制以及系统应急响应成本限制等应急系统物资供求特性而导致的物资优化分配问题尚未进行深入研究,反映现有的理论研究与应急管理中的实际需求存在较大差距。事实上,本研究所重点强调的物资时变供求特性——即在灾情变化的不同阶段(主要指随时间变化)应急物资表现出不同的供求特点,是实际应急物流系统的真实情况。因此,从应急物资时变供求特性分析入手来研究其优化分配问题更具现实意义。

在相关研究成果分析的基础上,本书主要针对大规模自然灾害应急物流运作的核心——应急物资分配模型的构建与求解进行研究。通过归纳应急物资分配系统的特性,分析其决策目标与约束条件,构建出符合实际应急运作的优化决策模型,分析模型可行解和最优解条件,并设计求解优化算法。本书内容主要包括:

- (1) 总结了应急物流系统的内涵和系统结构,分析了应急物

资分配系统的特性,提出了基于应急物资供求特性分析而进行优化分配的研究思路:以“应急响应时间最早”、“参与出救点最少”为优化目标,将问题分解为非时变供求约束与带时变供求约束两个层面,涵盖系统响应成本修正、应急限制期与运力限制三大约束,涉及简单网络与复杂网络两个维度。

(2) 针对非时变供求约束情形,研究了存在成本修正和物资调运力限制约束的多出救点选择问题。分析了应急响应的成本组成并将应急响应成本作为方案优劣评价的修正,构建了基于成本修正的应急物流物资响应决策模型,并设计了求解优化算法;针对带运力限制的多出救点选择决策问题,定义了从应急响应指令下达为初始至最后一批物资送达需求点的时间为应急响应时间,分析了出救点物资可供应量、供应量和重复运输次数之间的关系,构建了带运力限制约束的多出救点选择多目标决策模型,并设计了相应的优化算法。

(3) 针对带时变供给约束情形,研究了多出救点选择问题。创新地提出了“临界应急响应时间”概念,分析了实际临界应急响应时间与理论临界应急响应时间之间的关系,以及临界应急响应时间与最大运输时间的关系,构建了带时变供给约束的多出救点选择模型,设计了符合带时变供给约束的多出救点选择多目标决策模型的优化算法。在此基础上,研究了非时变供求约束情形下带运力限制约束多出救点选择的时变供给转换模型,并设计了相应的优化算法。

(4) 针对带时变供求约束情形,研究了带时变供求约束的多出救点选择与单出救点多需求点应急物资分配问题。分析了带时变供求约束情形下应急系统最小应急响应时间的构成,以及实际临界应急响应时间与理论临界应急响应时间之间的关系,构建了带时变供求约束的多出救点选择多目标决策模型,并设计了求

解优化算法。在此基础上,分析了带时变供求约束情形下,单出救点、多需求点应急物资分配方案的构成,创新地提出了“拓扑转换”方法将原问题(单出救点、多需求点)变换为多出救点选择问题,并设计了相应的优化算法。

(5) 考虑时变供求与应急限制期约束,研究了多需求点应急物资分配模型。分析了带时变供求与应急限制期约束情形下应急方案的构成,分析了系统应急响应时间与各需求点应急限制期之间的关系,创新地提出了在不考虑应急限制期的可行方案基础上对方案进行调整的解决思路,并设计了相应的优化算法。

(6) 在复杂网络环境下,研究了带时变供求约束的复杂网络(多出救点、多需求点)应急物资分配问题。分析了带时变供求约束复杂网络情形下应急方案的构成,分析了系统应急响应时间与需求点应急响应时间、出救点应急响应时间之间的关系,分析了临界应急响应时间与系统最小应急响应时间之间的关系,提出了约定分配规则,并设计了相应的优化算法。

通过对以上问题的研究,可以帮助应急物流运作管理决策者更好地理解应急物流与应急物资分配的内涵,为保障应急物资供应和应急物流运作提供智力支持和决策参考,实现应急物资分配决策的目标,包括应急时间最小和参与出救点个数最少,从而最大限度地降低大规模自然灾害等突发事件对社会正常秩序的冲击,减少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“城市应急物流中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/G0104)”、教育部人文社会科学研究项目“应急物资供求特性分析及复杂网络分配优化决策研究(10YJC630018)”和浙江省哲学社会科学规划课题重点项目“巨灾

应急物资供求特性分析与优化分配决策研究(10CGGL03ZQ)”等资助下完成的。在本书研究和写作过程中,浙江工商大学华尔天副校长和信息工程与电子商务研究所的成员给予了莫大的支持和帮助,在此深表谢意。同时,本书出版得到了浙江工商大学出版社鲍观明社长和王如星编辑的支持和帮助,在此致以衷心的感谢。

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所限,书中不足之处恳请同行和读者不吝指正。

陈达强

2010年11月于浙江工商大学

符号说明

(按符号在本书中第一次使用的先后排序)

y	应急物资需求点 B 的应急物资需求量
x_i	应急出救点 A_i 的资源可用量, $i=1, 2, \dots, n$
d_i	应急出救点 A_i 到应急物资需求点 B 所需时间(或距离), $i=1, 2, \dots, n$
C_1	受灾系统灾害发生后个体的灭亡损失
R	受灾系统灾害发生后个体的个体灭亡率
S_h	应急出救方案 h
$T(S_h)$	应急出救方案 S_h 对应的响应开始最早时间
C_2	单位距离的出救费用
C_{if}	出救点 A_i 参与应急响应的固定成本, $i=1, 2, \dots, n$
$N(S_h)$	应急出救方案 S_h 对应的出救点数目
V	所有可行应急方案的集合
T_{ij}	车辆在路网中任意节点 (i, j) 上的行驶时间(仅在第四章中)
D_{ij}	车辆在任意节点 (i, j) 上的行驶距离
P_{ij}	车辆在任意节点 (i, j) 上的安全通过率
x_{ij}	当车辆通过路段 (i, j) , 则 $x_{ij}=1$; 否则 $x_{ij}=0$
Q_i	备选路线 i 决策效用指标
a_i	出救点 A_i 的物资可供供应量(或初始物资供应量), $i=1,$

$2, \dots, n$

- Cap_i 出救点 A_i 一次性所能运送物资的最大运载量, 即运输能力, $i=1, 2, \dots, n$
- n_i 实现从出救点 A_i 调运 x_i 物资量而产生的调运次数
- t_i 出救点 A_i 的应急物资筹集时间, $i=1, 2, \dots, n$
- b_i 出救点 A_i 的应急物资单位时间增加量, 即筹集能力, $i=1, 2, \dots, n$
- T_i 应急出救点 A_i 的应急响应时间
- t^L 应急系统在满足需求条件下的临界应急响应时间
- t^0 系统实际临界应急响应时间
- c 需求点 B (或系统所有应急需求点) 的初始物资需求量
- e 需求点 B (或系统所有应急需求点) 的应急物资需求量单位时间增加量, 即消耗能力
- d_j 应急出救点 A 到需求点 B_j 所需运输时间 (或距离), $j=1, 2, \dots, m$
- a 出救点 A 的初始资源供给量
- b 出救点 A 的应急物资单位时间增加量, 即筹集能力
- c_j 需求点 B_j 的初始物资需求量, $j=1, 2, \dots, m$
- e_j 需求点 B_j 的应急物资需求量单位时间增加量, 即消耗能力, $j=1, 2, \dots, m$
- t_j 需求点 B_j 的物资到达时间, $j=1, 2, \dots, m$
- T_j 应急出救点 A 向应急需求点 B_j 开展应急活动的应急响应时间 T_j
- a_j 出救点 A 分配给应急需求点 B_j 的初始供给量
- b_j 出救点 A 分配给应急需求点 B_j 的单位时间供给能力
- x_j^* 虚拟出救点 A_j^* 的物资供给能力
- y^* 虚拟需求点 B^* 的物资需求量

TD_j	需求点 B_j 的应急限制期
G	满足 $T < TD_j$ 的需求点 B_j 的集合, $g \in G, j=1, 2, \dots, m$
Δa_g	需求点 B_g 所分配的初始物资分配量的调出变化量
Δb_g	需求点 B_g 所分配的物资汇集能力的调出变化量
ΔT_g	需求点 B_g 原应急响应时间与调整后应急响应时间的调整增量, $\Delta T_g > 0$
H	满足 $T > TD_j$ 的需求点 B_j 的集合, $h \in H, j=1, 2, \dots, m$
Δa_h	需求点 B_h 所分配的初始物资分配量的调入变化量
Δb_h	需求点 B_h 所分配的物资汇集能力的调入变化量
ΔT_h	需求点 B_h 原应急响应时间与调整后应急响应时间的调整减量, $-\Delta T_h < 0$
$\tilde{t}_i$	出救点 A_i 的应急物资筹集时间, $i=1, 2, \dots, n$
t_j	需求点 B_j 的物资到达时间, $j=1, 2, \dots, m$
a_{ij}	出救点 A_i 向需求点 B_j 供应的初始物资量, $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$
b_{ij}	出救点 A_i 分配给需求点 B_j 物资筹集能力, $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$
t_{ij}	出救点 A_i 向需求点 B_j 供应的物资筹集时间, $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$
$\tilde{T}$	出救点的应急响应时间
T	需求点的应急响应时间
T	系统应急时间
T_{ij}	仅考虑出救点 A_i 与需求点 B_j 时的应急响应时间, $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$
d_{ij}	应急出救点 A_i 向需求点 B_j 供应物资的物资运输时间, $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$

- Δa_{ig} 应急出救点 A_i 向需求点 B_g 所分配的初始物资分配量的调出变化量, $i=1,2,\dots,n$
- Δb_{ig} 应急出救点 A_i 向需求点 B_g 所分配的物资汇集能力的调出变化量, $i=1,2,\dots,n$
- ΔT_{ig} 应急出救点 A_i 向需求点 B_g 原应急响应时间与调整后应急响应时间的调整增量, $\Delta T_{ig} > 0$
- Δa_{ih} 应急出救点 A_i 向需求点 B_h 所分配的初始物资分配量的调入变化量, $i=1,2,\dots,n$
- Δb_{ih} 应急出救点 A_i 向需求点 B_h 所分配的物资汇集能力的调入变化量, $i=1,2,\dots,n$
- $\Delta T'_{ih}$ 应急出救点 A_i 向需求点 B_h 原应急响应时间与调整后应急响应时间的调整减量, $-\Delta T'_{ih} < 0$