

教育部人文社会科学研究一般项目（规划项目）（09YJA630102）资助出版

JIYU ANLI TUILI DE
CHENGZHEN ZAIHAI YINGJI DIAODU JIZHI YU FANGFA YANJIU

基于案例推理的

城镇灾害应急调度机制 与方法研究

◎ 常春光 著

 東北大學出版社
Northeastern University Press

教育部人文社会科学研究一般项目（规划项目）（09YJA630102）资助出版



基于案例推理的城镇灾害 应急调度机制与方法研究

常春光 著



东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 常春光 2014

图书在版编目 (CIP) 数据

基于案例推理的城镇灾害应急调度机制与方法研究 / 常春光著. —沈阳: 东北大学出版社, 2014. 6

ISBN 978 - 7 - 5517 - 0651 - 3

I. ①基… II. ①常… III. ①城镇—灾害防治—应急对策—研究 IV. X4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 143376 号

内容简介

本书针对复杂的城镇灾害应急调度及管理问题, 以案例推理 (CBR) 为主要依托方法, 构建了基于 CBR 的城镇应急管理体系框架; 研究了不确定环境下应急调度问题的快速提炼与实时配构; 描述了不确定环境下应急调度模型的构建、分解与快速求解机制; 介绍了基于 CBR 的城镇应急管理体系的核心技术, 包括案例表达、案例匹配、案例调整与案例维护; 分别面向自然灾害与人为灾害, 给出了基于 CBR 的城镇应急管理体系的实现思路与方案。

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024 - 83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024 - 83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http: //www. neupress. com

印 刷 者: 三河市天润建兴印务有限公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 11.5

字 数: 286 千字

出版时间: 2014 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2014 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 刘乃义 刘振军

封面设计: 刘江旻

责任校对: 郎 坤

责任出版: 唐敏志

ISBN 978-7-5517-0651-3

定 价: 40.00 元

随着我国城镇化进程不断推进，城镇的发展走上了快车道，辖区日益扩张，人口日益密集，经济快速增长，各项事业蒸蒸日上。然而，我们也看到城镇所面临的各类灾害的侵袭日益加剧。一方面，地震、洪水、雪灾、火山、风灾等自然灾害的发生频率、发生规模与破坏力呈不断上升趋势，对城镇造成惊人的损失；另一方面，群体性突发事件、交通事故、生产安全事故等人为灾害的发生也屡见不鲜，对城镇的生产、生活造成巨大的不利影响。在此背景下，城镇灾害的应急管理显得尤为重要，而应急调度机制又是城镇灾害的应急管理的中中之重，具有重要的理论研究价值与现实意义。

城镇灾害的应急调度工作本身是一项复杂的系统工程，涉及因素繁多、关系复杂，一个简单的模型与方法难以解决。为此，本书以案例推理（Case-Based Reasoning, CBR）为基本技术依托，研究基于 CBR 的城镇灾害应急调度机制与方法。CBR 作为一种新推理机制，在很大程度上克服了规则推理（Rule-Based Reasoning, RBR）遇到的制约人工智能系统进一步发展的诸多难题。例如，知识获取“瓶颈”突出，耗费人力与时间过大，推理运行速度较慢，处理大规模信息的能力脆弱，系统维护困难，等等。本书针对 CBR 的原理，结合复杂的城镇应急调度应用背景，进行了系统化的阐述与应用验证。本书内容对于进一步推广城镇灾害应急调度理论的深入研究、拓展 CBR 在相关领域的应用具有一定的推动作用。

为使读者对城镇灾害应急调度、CBR 的原理与应用方法有更为明确的了解，本书以复杂的城镇灾害应急调度及管理问题为背景进行了介绍，实现了理论与实际的紧密结合。本书根据城镇灾害应急调度及管理问题的特点，以 CBR 方法为研究主线，引入粗糙集理论，将神经网络、遗传算法等优化方法结合到 CBR 中，研究了基于 CBR 的城镇灾害应急调度及管理问题的相关理论。本书共四篇。

第 1 篇为概述篇，概述了城镇应急管理，构建了基于案例推理的城镇应急管理体系框架，研究了不确定环境下应急调度问题的快速提炼与实时配构，描述了不确定环境下应急调度模型的分解与快速求解机制，介绍了基于案例推理的城镇应急管理体系的核心技术，概括了基于案例推理的城镇应急管理体系的实现思路与方法。

第 2 篇为原理篇，归纳了 CBR 方法的基本理论，描述了案例推理的基本实现流程，介绍了案例推理中的案例表达、案例匹配、案例调整与案例维护四个基本环节的实现方法；研究了基于 BP 网的案例匹配技术；研究了基于粗糙集理论的案例属性约简技术；归纳了 CBR 中主要案例的调整方法，设计了案例调整算法，并给出了一个通用的案例调整框架。

第 3 篇为自然灾害应用篇，研究了基于灰色理论、粗糙集与 Vague 集 BP 网的自然灾害下应急调度不确定信息处理方法，从出救点和受灾点数量、资源种类数量、物资消耗模式、消费结构、信息确定与非确定、动态与静态等多维角度构建了城镇灾害应急调度

的模型库，并研究了相应的遗传算法、粒子群算法等智能优化算法，以及基于 CBR 的震后住宅修复调度决策支持系统。

第4篇为人为灾害应用篇，研究了基于 CBR 的群体性突发事件应急调度机制；基于 CBR 的交通应急调度预案体系；基于 CBR 的建筑生产事故灾害应急调度系统，具体包括基于 CBR 的调度前建筑生产安全诊断系统、融入情景分析法的 CBR 在工程建设安全预警中的应用、基于 CBR 的工程事故应急调度预案支持系统、基于 CBR 的工程事故应急调度标准化管理。

本书由笔者近些年来在该领域长期、大量的研究成果凝结而成。近几年几易其稿，多次与国内外有关专家学者及实践工作者交流探讨，完善该学科知识体系。本书是笔者根据多年的 CBR、城镇灾害应急调度与管理问题相关的科研成果撰写而成的，力求把 CBR 相关的基本含义、基本理论、基本方法与技能以及系统开发体系融为一体，全面加以介绍。

本书得到了教育部人文社会科学研究一般项目（规划项目）（09YJA630102）资助出版，在此深表感谢！

另外，与本书相关的科研项目还包括如下几项：

① 基于情景分析的建筑生产事故预警机制与应急预案的研究（WJQ2011011）〔辽宁省高等学校优秀人才支持计划（高校杰出青年学者成长计划）〕；

② 基于 E-CBR 与 AIA 的电子商务智能诱导关键技术研究（201202181）（辽宁省自然科学基金）；

③ 基于 CBR 的建筑生产重大事故隐患辨识系统研究（10-022）（国家安全生产监督管理总局：安全生产重大事故防治关键技术重点科技项目）；

④ 多维一体的沈阳市生态文明城市建设体系研究（F13-317-5-12）（沈阳市科学技术计划项目）。

⑤ 沈阳建筑大学管理学院著作基金。

本书的部分研究成果得到了以上项目的资助，在此表示感谢！

本书的撰写得到了笔者的博士生导师、东北大学汪定伟教授和笔者的博士后合作导师、中国科学院沈阳自动化所朱云龙研究员的悉心指导，并得到了中国科学院沈阳自动化所博士生导师胡琨元研究员、东北大学崔建江教授的无私帮助。研究生陈冬文、马翔、贾兆楠、刘春会、刘锋、郑妍、孟令超等在本书的出版过程中进行了大量的前期预研与资料整理工作。同时，本书的撰写与出版得到了沈阳建筑大学方方面面的大力支持，特别是得到了沈阳建筑大学管理学院刘亚臣院长的多方面鼎力支持，还得到了沈阳建筑大学宋晓宇教授的指导与大力支持，在此向他们一并表示衷心的感谢！

沈阳建筑大学

常春光

2014年5月

第1篇 概述篇

第1章 城镇应急管理概述	3
1.1 城镇应急管理研究的理论和实际应用价值	3
1.2 国内外发展现状和趋势	4
1.3 城镇应急调度领域需要解决的难题	7
1.4 本书编写的目的	8
1.5 本书的主要内容	8
第2章 基于案例推理的城镇应急管理体系内容	10
2.1 基于案例推理的城镇应急管理体系框架	10
2.2 不确定环境下应急调度问题的快速提炼与实时配构	10
2.3 不确定环境下应急调度模型的分解与快速求解	11
2.4 基于案例推理的城镇应急管理体系的核心技术	12
2.5 基于案例推理的城镇应急管理体系的实现思路与方法	12

第2篇 原理篇

第3章 案例推理基本原理	17
3.1 案例推理的起源	17
3.2 案例推理的主要特点	18
3.3 案例推理的基本分类	18
3.4 案例推理的实现流程	19
3.5 案例推理的基本环节	20
第4章 案例推理实现的关键技术	21
4.1 案例表达技术	21
4.1.1 案例表达的基本技术	21
4.1.2 基于粗糙集的案例属性约简技术	22
4.2 案例匹配技术	24
4.2.1 案例索引	24
4.2.2 案例检索	24

4.2.3 基于 BP 网的案例匹配技术	25
4.3 案例调整技术	28
4.3.1 案例调整的相关定义与方式划分	28
4.3.2 单案例调整	28
4.3.3 组合调整	31
4.3.4 案例调整通用框架	32
4.4 案例维护技术	32
4.4.1 案例维护的需求分析	32
4.4.2 案例维护的基本方式	33

第 3 篇 自然灾害应用篇——自然灾害应急调度

第 5 章 自然灾害下应急调度不确定信息处理	37
5.1 基于灰色预测的不确定信息处理	37
5.2 基于粗糙集的不确定信息处理	40
5.3 基于 Vague 集 BP 网的应急物资需求特征识别	42
5.3.1 Vague 集的预备知识	43
5.3.2 基于 Vague 集的 BP 网的结构	44
5.3.3 Vague 集的 BP 网的步骤	45
5.3.4 应用实例	46
5.3.5 结果分析	48
第 6 章 多对单型城镇应急物资调度模型	49
6.1 多资源、多对单、非消费结构导向救援物资调度类型	49
6.1.1 问题描述	49
6.1.2 模型的构建	49
6.1.3 异族交叉遗传算法 MC - GA	50
6.1.4 算法的验证与分析	51
6.1.5 参数影响分析	52
6.2 多资源、多对单、消费结构导向救援物资调度类型	54
6.2.1 应用问题的描述与前提	54
6.2.2 模型的构建	55
6.2.3 模型转换与求解	56
6.2.4 应用实例分析	57
第 7 章 多对多型城镇应急物资调度模型	59
7.1 单资源、多对多、一次性消耗的救援物资调度类型	59
7.1.1 问题描述与模型构建	59
7.1.2 模型求解与分析	60
7.2 单资源、多对多、动态连续消耗的救援物资调度类型	63

7.2.1 问题描述与模型构建	63
7.2.2 模型求解与分析	64
7.3 单资源、多对多、不确定连续性消耗应急物资调度类型	66
7.3.1 问题描述与模型构建	66
7.3.2 模型求解与分析	68
7.4 多资源、多对多、变精度粗糙应急物资调度类型	75
7.4.1 问题描述与模型构建	75
7.4.2 模型求解与分析	78
7.5 多资源、多对多、变精度粗糙应急车辆调度类型	82
7.5.1 问题描述与模型构建	82
7.5.2 模型求解与分析	84
第8章 基于 CBR 的震后住宅修复调度决策支持系统研究	88
8.1 基于两级 CBR 的系统体系结构	88
8.2 第一级 CBR 的实现	89
8.3 第二级 CBR 的实现	90
8.4 运行结果与分析	93
第4篇 人为灾害应用篇——人为灾害应急调度	
第9章 基于 CBR 的群体性突发事件应急调度机制研究	97
9.1 群体性突发事件信息收集与分析	98
9.1.1 群体性突发事件舆情的收集渠道与模式	98
9.1.2 我国典型群体性突发事件案例整理与分析	99
9.1.3 群体性突发事件中舆情的效应模型	105
9.1.4 群体性突发事件各期的舆情信息汇集分析机制	106
9.2 基于 CBR 的群体性突发事件应急调度体系与关键技术	107
9.2.1 基于 CBR 的群体性突发事件应急调度框架	107
9.2.2 三层 CBR 实现的关键技术	108
9.3 基于上层 CBR 的群体性突发事件预警等级识别	109
9.3.1 群体性突发事件特征提取	109
9.3.2 群体性突发事件特征类别识别	109
9.3.3 群体性突发事件预警等级评判	110
9.3.4 群体性突发事件预警等级评判案例编制	111
9.4 基于中层 CBR 的群体事件处置原则与策略制订	112
9.4.1 群体性突发事件的处置原则	112
9.4.2 群体性突发事件处置要点	114
9.4.3 群体性突发事件处置策略	116
9.4.4 群体性突发事件处置策略制订案例的编制	118

9.5 基于下层 CBR 的群体性突发事件应急调度措施的生成	119
9.5.1 群体性突发事件应急调度措施的内容要素	119
9.5.2 群体性突发事件应急调度措施生成案例的编制	123
第 10 章 基于 CBR 的交通应急调度预案体系研究	125
10.1 基于 CBR 的交通应急调度预案体系框架的构建	125
10.2 交通拥堵事件特征提取与类型识别	127
10.3 交通应急调度的处置原则与策略制订	128
10.4 交通拥堵事件处置程序与疏散预案的生成	131
10.4.1 基于案例推理的交通拥堵事件的处置程序	131
10.4.2 交通拥堵事件疏散预案的措施	134
10.5 面向应急交通调度的智能交通系统的建设	136
10.5.1 智能交通管理系统建设的体系框架	136
10.5.2 智能交通管理系统建设的关键技术	136
10.5.3 智能交通管理系统建设的具体内容	137
第 11 章 基于 CBR 的建筑生产事故灾害应急调度系统的研究	141
11.1 基于 CBR 的调度前建筑生产安全诊断系统的研究	141
11.1.1 建筑生产安全诊断 CBR 系统的实现流程	142
11.1.2 建筑生产安全诊断 CBR 系统的关键技术	142
11.1.3 建筑生产安全诊断 CBR 系统的运行结果与分析	146
11.2 情景分析法与 CBR 在工程建设安全预警中应用研究	147
11.2.1 引言	148
11.2.2 面向重大工程项目建设安全预警的情景分析法的实现流程	148
11.2.3 重大工程项目建设安全预警中情景分析法的关键技术	149
11.2.4 应用实例与结果分析	150
11.3 基于 CBR 的工程事故应急调度预案支持系统的研究	153
11.3.1 基于 CBR 的应急预案支持系统的实现流程与框架	154
11.3.2 面向工程事故应急预案生成的 CBR 的关键技术	154
11.3.3 运行结果与分析	160
11.4 基于 CBR 的工程事故应急调度标准化管理的研究	161
11.4.1 工程事故应急调度标准化管理体系的构建原则	162
11.4.2 基于 CBR 的工程事故应急调度标准化管理体系的构建流程	163
11.4.3 基于 CBR 的工程事故应急调度标准化管理体系的关键环节	163
参考文献	166

第 1 篇 概述篇

基于案例推理的城镇灾害应急调度机制与方法的研究涉及案例推理基本原理、城镇灾害应急调度管理方法，两者的紧密结合有助于提高城镇灾害应急调度管理水平。

本篇重点介绍城镇应急管理研究的理论和实际应用价值、国内外研究现状和趋势，基于案例推理的城镇应急管理体系框架，不确定环境下应急调度问题的快速提炼与实时配构，不确定环境下应急调度模型的分解与快速求解，基于案例推理的城镇应急管理体系的核心技术，基于案例推理的城镇应急管理体系的实现思路与方法。

第 1 章 城镇应急管理概述

1.1 城镇应急管理研究的理论和实际应用价值

现有研究能够很好地解决单一调度问题，而城镇灾害应急调度问题并非一个或几个确定性调度模型与算法可以解决的，而是首先需要解决调度中空缺数据、噪声数据与非确定数据问题。以灾害这类突发性事件为例，灾害包括自然灾害（地震、火山、风灾、水灾、雪灾等）与人为灾害（群体事件、恐怖活动、生产事故、交通事故、火灾、爆炸等），而每一种灾害发生的初期，大部分信息表现出不确定性，传统的确定性调度理论与方法很难运用。当突发性事件发生时，信息的不确定性更为突出，在不确定条件下的应急调度快速配构与优化是迫切需要解决的关键科技问题。针对各种情况的出现，在有限的时间内，对不确定进行最有效的处理，以一定的规则实现应急调度建模，并选择最佳求解算法来解决实际问题，有助于弥补应急调度领域研究的不足，在理论上具有重要的科学研究价值。

在我国乃至世界范围内的自然灾害、事故灾难、公共卫生和社会安全的救援中，城镇灾害应急调度具有广泛的应用前景。随着自然灾害的频频发生（如我国的汶川大地震、玉树地震、雅安地震、南方雪灾）、重大传染病（如近几年爆发的 SARS、禽流感、疯牛病等）的不断爆发、重大事故灾难的时常发生、人为恐怖主义活动（如美国的“9·11 事件”、“东突”恐怖组织活动）的滋生泛滥，城镇灾害应急调度已成为人们不可回避的重要问题，其对国民经济和社会发展的影响愈来愈大。

近年来，各类自然灾害与人为事件的爆发频率与规模呈明显上升趋势，各种城镇自然灾害与人为事件给人们带来了巨大的生命与财产损失。2013 年 4 月 20 日 8 时 2 分，雅安市芦山县发生了 7.0 级地震。地震造成 196 人遇难，21 人失踪，13484 人受伤，231 万余人受灾。2010 年 4 月 14 日晨，青海省玉树藏族自治州玉树县发生了两次地震，最高震级 7.1 级，截至 2010 年 5 月 30 日 18 时，经青海省民政厅、公安厅和玉树州政府按相关程序规定核准，玉树地震已造成 2698 人遇难。2008 年 5 月 12 日发生的汶川大地震，截至 2008 年 8 月 18 日，已确认 69225 人遇难，374643 人受伤，失踪 17923 人，造成的直接经济损失达 8451 亿元人民币。此外，2010 年的海地大地震、2004 年的印度洋海啸等重大自然灾害，给全人类带来了巨大的人身伤亡和经济损失，即使将其降低百分之一甚至千分之一，其绝对量也相当惊人。面对各类错综复杂、难以回避的重大自然灾害，应急调度的反应速度与如下问题有着密切的关系：如何应用不确定信息处理理论与方法，增强重大自然灾害的大规模救援物资的应急调度能力，最大程度地挽救人民生命与财产安全；如何在突发性灾害事件发生时，将其损失降为最低，最大限度地进行救助。城镇应急管

理的深入研究,有助于以最快的反应时间、最少的应对成本、最有效的解决途径实现应急处理工作,带来有形与无形的社会与经济效益,对促进我国应急调度水平的提升具有一定的推动作用,其理论意义与工程应用价值重大。

本书研究内容的生产力转化将为国家城镇安全管理工作提供重要支持,体现巨大的实际应用价值:有利于降低城镇灾害或事件导致的风险损失,产生间接经济效益,挽救更多的生命与财产安全;有助于大大提高应急调度的效率,在第一时间快速应对突发性事件与自然灾害,保障公共安全,维护基础设施正常运行,最大限度地维护社会公众利益;有助于分清轻重缓急,快速保障第一需要,确保第一安全,避免由突发性事件与自然灾害所导致的二次突发性事件,有益于维护社会的安定团结;有助于各级政府对突发性事件与自然灾害作出快速反应,使社会公众在危难之时感受到党与政府的关怀,提高社会公众对政府的信心;有助于公众产生一种强烈的社会归宿感与责任感;有助于分清敌我矛盾与人民内部矛盾,及时打击敌对势力、化解人民内部矛盾,构建和谐社会。

1.2 国内外发展现状和趋势

国内外针对城镇灾害应急调度的实践与理论进行了广泛的研究。在实践中,国外发达国家大都建立了具有自己特色的自然灾害与人为灾害的防范机制,特别是美国在“9·11”恐怖事件之后,加大了对该类事件的预警与应对机制。在我国,2006年1月8日,国务院发布了《国家突发公共事件总体应急预案》,将各类突发公共事件按照其性质、严重程度、可控性和影响范围等因素分为特别重大(Ⅰ级)、重大(Ⅱ级)、较大(Ⅲ级)和一般(Ⅳ级)4个级别。《预案》是全国应急预案体系的总纲,包括25个专项预案和80个部门预案,明确了各类突发公共事件分级分类和预案框架体系,规定了国务院应对特别重大突发公共事件的组织体系、工作机制等内容,是指导预防和处置各类突发公共事件的规范性文件。至此,我国的应急预案框架体系初步建立。

在理论研究方面,主要包括如下内容。

(1) 不确定调度方面

① 在不确定调度策略方面,Janak Stacy L 和 Lin Xiaoxia 等^{[1]171-195}研究了鲁棒调度策略;Eguchi Toru 和 Oba Fuminori 等研究了不确定动态调度策略^{[2]1630-1637};Policella Nicola 提出了一种局部排序调度策略应对调度的不确定性^[3];丁然、李歧强等研究了批处理过程的鲁棒调度策略^[4];针对不确定调度问题,Ogrenci Memik Seda 等研究了不确定性驱动调度^[5]。

② 在不确定模型描述与求解方面,Grossmann I E 研究了多阶段随机优化近似算法^{[6]3695-3713},Tsujimura Y, Park S 等研究了模糊调度有效求解方法^[7],Janak Stacy L 等学者提出了鲁棒优化方法^{[1]171-195},Eguchi Toru, Oba Fuminori 等提出了动态调度方法^{[2]1630-1637},王华勇、戴一奇设计了基于马尔可夫向量空间模型^[8],朱海平、邵新宇等提出了多优先级随机规划模型^[9],樊治平等提出了理想点法解决群决策中偏好信息的不确定性问题^[10],鲁音隆、阳东升、刘忠等通过多维动态列表规划算法进行任务和资源的分配^[11],王红卫等用熵来度量马尔可夫决策的复杂性^[12],于艾清、顾幸生研究了基于广义粗糙集的不确定调度模型^[13],宋晓宇、朱云龙等研究了模糊调度的混合智能算法求

解^[14-15]。

在不确定信息处理方面, Tang Run 和 Wang Huimin 等对直觉模糊群决策方法进行了研究^[16], 刘洋、樊治平运用不确定语言信息运算法则对决策方案中语言信息的不确定性进行了计算^[17]。

可见, 不确定调度在其内在机制、模型描述与算法、不确定信息处理三个方面的研究成果为不确定调度的研究奠定了坚实的理论基础。面向大规模的复杂不确定调度问题, 三者的集成研究将成为未来这一领域的发展趋势。特别是在重大自然灾害下, 大量信息无法精确获取, 诸如模糊群决策、不确定语言信息处理机制等不确定信息处理方法的研究显得尤为重要。

(2) 应急调度方面

① 在应急调度机制方面, Cott B J 等运用平移算法减少了处理时间不确定对应急调度的影响^[18]; Honkomp S J 等提出了基于仿真的反应式调度框架^[19]; Kanakamedala K B 等研究了反应式调度修正机制^[20]; 范维澄院士凝练出我国突发公共事件应急管理中的五大科学问题^[21], 并渗透出应急调度所应遵循的内在机制; Wang Tao 等结合混沌与耗散结构理论, 分析了突发应急事件的发展和演化^{[22]4318-4322}; Yang Qing、Shi Yaneng 等提出了基于免疫的应急预案多代理理论框架, 在该框架中, 应急管理预案与突发事件相互作用并进行演化以达到最佳^[23]。

② 在应急调度模型构建方面, 从优化目标与约束条件的角度出发, Bazbarosoglu G 和 Arda Y 研究了救援时间约束下最小费用应急调度模型^[24]; 何建敏、刘春林等研究了应急时间最早以及限制期条件下出救点最少的应急调度模型^[25]; 葛洪磊、刘南等综合了多种属性因素来构建以受灾人员损失最小为目标的多受灾点、多商品应急物资分配模型^[26]; 葛洪磊构建了基于灾情信息特征的应急物资分配决策模型^[27]; 高学英构建了大规模应急救援资源布局与调度优化模型^[28]; 孙颖、池宏等研究了多路径下应急资源调度的非线性混合整数规划模型^[29]; 周晓猛、姜丽珍等结合动态规划的基本理论, 构建了应急资源优化配置数学模型^[30]; 赵林度、刘明等研究了一种具有脉冲需求特性的应急资源调度模型^[31]; 许有志、杨吉江等研究了突发公共事件应急管理的情境建模、获取和匹配等相关技术^[32]; Wang Jing 等构建了多层次、多灾害场景应急资源选址和分配的双向规划模型^{[33]202-205}; 刘奕、周琦、苏国锋等采用多主体方法对应急事件中多部门的协同问题进行了建模与分析^{[34]165-169}; 张婧、申世飞等将多事故资源调配问题描述为完全信息非合作博弈过程, 并设计了一种改进的基于偏好序的效用函数来刻画各事故得到救援的及时性和有效性^{[35]2172-2175}; Chen Ning 等归纳了在应急管理中处理海量信息的数据挖掘技术^[36]; Shen Huizhang 等以马尔可夫链模型为依据, 提出了新的规划方法以改善应急响应中群体决策的效率^{[37]25-31}; 王庆全、荣莉莉等基于最大公约子范畴的知识匹配方法解决了应急决策中需求和背景知识的匹配问题^[38]。

③ 在应急调度信息系统方面, 袁晓芳研究了基于情景分析与 CBR 的非常规突发事件应急决策系统^[39], 赵彤研究了突发自然灾害应急救援物资配送系统^[40], 陈涛、翁文国等针对丽江古城大规模火灾的预防问题提出了消防应急管理平台架构^[41], Zhong Shaobo 等基于事件链原则对应急管理平台中综合预测过程和相关技术进行了研究^[42]。

可见, 在应急调度方面的研究角度众多, 集成上述研究成果, 面向重大灾害的大规模救援物资应急调度模型的构建、各单元模型间的协调机制的研究将成为未来的一个研

究趋势。

(3) 车辆调度与路径选择方面

① 在模型描述方面,从模型包含的范畴角度出发,Haghani Ali 和 Hu Huijun 等建立了应急车辆调度规划模型^[43],Ozdamar L^{[44]218-219}和 Fallahi A E 等^[45]研究了应急资源调度路径优化问题。从模型的目标与约束特征角度出发,Wang Haijun 和 Xu Jiong 以减少缺货成本为目标,对应急物流的车辆调度问题进行了研究^[46];何正文、贾涛等研究了基于禁止时间窗的应急物资调度车辆路径问题^[47]。从模型的不确定性描述角度,谢小良、符卓研究了模糊机会约束规划下的物流配送路径优化模型^[48];Wang Chuanxu 和 Jiang Liangkui 考虑了应急物流中需求物资的不确定性,采用模糊多目标混合整数规划选取从物资供应处到灾难现场的运输路径^{[49]791-795};Yang Saini 等研究了限定区域内车辆实时调度及路线诱导模型^[50];Ozdamar L 建立了应急车辆调度规划模型^{[44]218-219};刘杨、沈海州等应用 BP 神经网络模型,建立了应急车辆行程时间计算模型^{[51]973-975}。

② 在模型求解方面,张景玲、赵燕伟等对动态需求车辆路径问题,采用量子算法对路径选取进行了优化^[52];王海梅、周献中从控制路网规模入手,提出了矩形限制搜索区域的最短路径算法^[53];朱晓锋、蔡延光等研究了具有模糊需求的车辆路径优化问题,并提出了解决该问题的一种禁忌搜索算法^[54];刘建、邓云峰等提出了城市应急调度中最佳路径算法,建立了虚拟辅助道路,利用 Dijkstra 算法找出了最短路径^[55];窦桂琴、杨青等基于 Dijkstra 算法,结合 GIS 技术,提出了一种基于城市应急系统的最短路径算法^[56];Wang Chuanxu 等考虑了应急物流中需求物资的不确定性,采用模糊多目标混合整数规划,选取了从物资供应处到灾难现场的运输路径^{[49]791-795};Ju Yanbin 等对应急物流中的紧急事件构建了不确定规划模型,并采用启发式算法求解了最短运输路径^[57]。

③ 在信息处理方面,杨晓光、彭春露引入了可靠性理论,对路网交通流影响下的应急救援车辆畅通通行进行了可靠性分析^[58];刘杨、沈海州等应用 BP 神经网络模型,建立了应急车辆行程时间计算模型^{[51]973-975}。

可见,依托 GIS 等技术平台的车辆调度与路径选择模型与算法的动态集成研究是这一领域中的研究趋势。

综上所述,国内外在不确定调度、应急调度方面的研究成果较多,获得了一些显著进展,丰富了不确定应急调度的理论与方法,为城镇灾害应急调度工作提供了重要的理论依据。特别地,由于特大灾害具有持续时间长、各种不确定信息共存、破坏强度极高等鲜明特点,对于不确定条件下大规模救援物资应急调度这一复杂的系统工程来说,上述研究成果在某些环节发挥了重要作用。但这些研究成果并没有很好地解决非确定条件下的城镇灾害应急调度的柔性与实际可操作性问题。特别是面对复杂多变的突发性事件状态,单一的或有限的几个应急调度模型难以与现实状况完全吻合,上述研究成果的应用就会失效。如何能在第一时间快速匹配并构建符合实际、具有可直接操作性的应急调度模型并加以优化,这一问题亟待解决。这也是本书选题的重要出发点。

1.3 城镇应急调度领域需要解决的难题

(1) 多维不确定性信息的集成性

当前人们已认识到的不确定性主要包括随机性、模糊性、灰色性与粗糙性等,上述理论得到了深入研究,并在应急调度实践中得到了应用。但城镇灾害下的信息呈现出更突出的多维不确定性,导致应急调度模型范畴体现出多维不确定性,形态与结构各异。目前,关于多维不确定性信息集成下的应急调度模型的研究还较为缺乏,而这类模型恰恰是最贴近城镇灾害应急调度实践的。已有的随机规划与模糊规划可以解决一部分随机和模糊系统的优化问题,但远不能满足多维不确定性城镇灾害应急调度问题的需要。

(2) 灾害演变的动态性

随着自然灾害或人为灾害发生发展态势的演变,应急调度所处的环境状态也不断改变,如何构建灾害演变导向的模型体系,并对静态调度模型进行动态调整,是城镇灾害应急调度的一大难题。针对此难题,类似的研究有 Grossmann I E 提出的多阶段随机优化近似算法^{[6]3695-3713},韩传峰、王兴广等给出的基于系统动力学的应急资源动态调度机制^[59],唐伟勤、张敏等描述的大规模突发事件应急物资调度的全过程模型^[60],Wang Tao 和 Wang Yanzhang 描述的基于混沌与耗散结构理论的突发应急事件演化过程^{[22]4318-4322}。而专门针对城镇自然灾害或人为灾害演变的大规模应急调度的研究相对薄弱。

(3) 多层面调度的协同性

城镇自然灾害或人为灾害发生后,由于受灾的空间与时间同时增大,面对复杂的广域、相对长期的大规模城镇灾害应急调度问题,单层面的调度及其模型难以奏效,而多层面调度及其模型的协同性又成为一个难题。为此,杨继君、许维胜等提出了基于多模式分层网络的应急资源调度模型^[61];Wang Jing 和 Zhu Jianming 等构建了多层次、多灾害场景应急资源选址和分配的双向规划模型^{[33]202-205};刘奕、周琦等采用多主体方法,对应急事件中多部门的协同问题进行了建模与分析^{[34]165-169}。目前,对多层面调度模型间的联动协调机制的研究还有待于深入。

(4) 实时性与精确性间的高度协调性

城镇灾害应急调度问题影响因素众多、约束条件复杂、非线性突出,通常需要用多个模型加以描述,不同模型间相互关联。换言之,任一模型的求解性能会呈现出较高的传递性,直接影响其他模型的求解性能。因此,对任一模型求解算法的实时性与精确性的协调性要求更高。针对这一难题,张婧、申世飞等利用完全信息非合作博弈过程,设计出改进的基于偏好序的效用函数来刻画各事故得到救援的及时性和有效性^{[35]2172-2175};Shen Huizhang 和 Zhao Jidi 以马尔可夫链模型为依据,提出了新的规划方法以改善应急响应中群体决策的效率^{[37]25-31}。可见,针对模型组求解算法的实时性与精确性测度、高度协调分析的研究相对不足。

上述四个难题带来的后果主要体现在:城镇自然灾害或人为灾害下,应急调度只能针对部分类型信息采取对策,导致应急调度工作经常处于信息非对称的状况,影响了其效力;灾害演变的动态性难以把握,应急调度决策出现延迟,缺乏时效性;应急调度工

作大多盲目地进行，不同层级间缺乏协调；应急调度的实时性与精确性间的矛盾突出，经常为了确保救援的及时性而丧失了救援决策的精确性，造成极大的人力、物力与财力浪费。

1.4 本书编写的目的

① 以学术界应急调度理论的丰富研究成果为依托，对城镇灾害下的应急调度理论与方法研究有所丰富。改进已有的城镇灾害应急调度理论研究成果，突破仅针对特定不确定性开展研究的思路，构建一套感知、辨别各类不确定性信息的集成处理解决方案。

② 变静态视角为演变视角，鉴于距灾害发生地中心的距离或影响程度不同，针对不同类型的区域，分别采取不同的应急调度建模策略，形成不同层次的建模机制，改进现有的救灾物资应急调度缺乏系统动态性考虑的现状。

③ 针对城镇灾害现场对应急调度及时性的特殊要求，研究灾害应急调度模型快速配构与最适算法求解的技术，攻克传统建模与求解速度慢、实际可操作性差的不足。

④ 为解决实际城镇灾害应急调度提供决策支持，提高应急调度反应速度，降低灾害损失。

1.5 本书的主要内容

作为城镇灾害救援的关键环节，城镇灾害应急调度尽管面对的危害类型各不相同，待解决的问题千差万别，却有一些共性的本质问题。不确定信息感知、应急调度机制、模型构建与算法运用求解是解决城镇灾害应急调度问题的共性过程。而多维不确定性信息的集成性、灾害演变的动态性、多层面调度的协同性、实时性与精确性间的高度协调性又是城镇灾害应急调度问题的突出特征。本书以这些特征为出发点展开的主要研究包括如下内容。

① 在城镇灾害应急调度概述方面，概述了城镇应急管理的理论与实践意义、相关发展状况，构建了基于案例推理的城镇应急管理体系框架，研究了不确定环境下应急调度问题的快速提炼与实时配构，描述了不确定环境下应急调度模型的分解与快速求解机制，介绍了基于案例推理的城镇应急管理体系的核心技术，概括了基于案例推理的城镇应急管理体系的实现思路与方法。

② 在案例推理基本原理方面，归纳了 CBR 方法的基本理论，描述了案例推理的基本实现流程，介绍了案例推理中的案例表达、案例匹配、案例调整与案例维护四个基本环节的实现方法；研究了基于 BP 网的案例匹配技术；研究了基于粗糙集理论的案例属性约简技术；归纳了 CBR 中主要案例的调整方法，设计了案例调整算法，并给出了一个通用的案例调整框架。

③ 在城镇自然灾害应用方面，研究了基于灰色理论、粗糙集与 Vague 集 BP 网的自然灾害下应急调度不确定信息处理方法，从出救点和受灾点数量、资源种类数量、物资消耗模式、消费结构、信息确定与非确定、动态与静态等多维角度构建了城镇灾害应急调