

应急物流规划与调度研究

YINGJI WULIU GUIHUA YU DIAODU YANJIU

李晓晖 / 著

中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

应急物流规划与调度研究

YINGJI WULIU GUIHUA YU DIAODU YANJIU

李晓晖 / 著

中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

应急物流规划与调度研究/李晓晖著. —北京:
经济科学出版社, 2016. 8

ISBN 978 - 7 - 5141 - 7174 - 7

I. ①应… II. ①李… III. ①物流管理 - 应急
系统 - 经济规划 - 研究②物流管理 - 应急系统 -
物资调度 - 研究 IV. ①F252

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 197032 号

责任编辑: 王柳松

责任校对: 刘 昕

版式设计: 齐 杰

责任印制: 邱 天

应急物流规划与调度研究

李晓晖 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http://jjkxcbs. tmall. com](http://jjkxcbs.tmall.com)

北京财经印刷厂印装

880 × 1230 32 开 5.5 印张 180000 字

2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 7174 - 7 定价: 29.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191510)

(版权所有 侵权必究 举报电话: 010 - 88191586)

电子邮箱: [dbts@ esp. com. cn](mailto:dbts@esp.com.cn))

前 言

作为世界上受自然灾害影响最为严重的国家之一，中国经受的灾害呈现种类多、频度高、损失严重的特点。1998 年洪水灾害、2003 年“SARS”事件、2008 年南方雪灾和汶川大地震、2010 年青海省玉树地震，等等，频繁发生的各种灾害进一步验证了在应急救援的过程中，除了需要大量的应急物资，应急物流的运作是否规范、顺畅也是关键所在。近 20 年间，中国在应对重大突发事件中，应急物流系统表现出来的不尽人意已引起政学两界的广泛关注，在此背景下，应急物流相关的科学研究应运而生。

如何把应急物流与商业物流结合起来，建立通用物流信息系统模型，实现应急物流与商业物流的混合调度，合理安排应急物资配送中心选址，解决应急车辆规划与调度问题是本书研究的主要问题。本书通过理论模型和案例仿真深入分析与研究了应急物流规划和调度问题。

本书在梳理应急物流与通用物流不同内涵的基础上，构建了应急物流与商业物流通用物流信息系统（GLIS）模型，适用于大型物流公司的多模式运作。GLIS 模型模型在实际工作过程中需要控制平面和执行平面的有效协调。GLIS 模型通过统一的标

准来管理整个物流公司的数据、信息和知识,利用层次化、模块化思想,进行路径计算与资源分配,通过识别业务需求解决应急物流和商业物流的信息统一接口问题,实现应急物流与商业物流的有效结合。

本书在建立基于业务预测的混合调度模型和基于优先级的混合调度模型的基础上,研究了骨干运输层外援应急物流与商业物流两种混合调度方法,以保证物流公司在承担救灾物资运输的同时保证商业物流效益最大化。基于业务预测的混合调度模型,通过预测应急物资需求量和商业业务量,合理安排商业业务的接收和车辆调度,但预测误差会给物流公司带来一些商业损失;基于优先级的混合调度模型,通过量化商业物流业务量和应急物流级别,通过最大化优先级为目标开展车辆调度,优先级预测不会出现闲置车辆,可以获得更多的商业利润。

本书在虚拟网络方法和鲁棒节点 p -中心模型法的基础上,研究了在运输时间不确定条件下从分发中心到配送中心之间的应急物资配送中心选址问题。首先基于受灾区域内公路交通网络的复杂度,将交通平面网络划分为骨干网络和次级网络,建立层次化虚拟网络模型,降低路径计算的难度,满足应急物流的响应时间限制条件。其次基于大规模自然灾害发生时间与影响程度无法预期,考虑配送中心与应急物资运输时间不确定,将应急物资配送中心选址问题定位为鲁棒节点 p -中心问题,使之满足时间约束条件或最小旅程约束条件,并通过模拟退火法进行求解,该算法得到的较差解的几率较低。

本书在多维时空网络法、改进的 VRP-TW 算法以及实时信息的动态 VRP 法的基础上,研究应急车辆规划与调度问题。

首先,基于多维时空网络方法建立随机性应急物资配送模型

并对模型进行修正,该模型以“平均值”的概念考虑随机性因素,使用“缓冲值”概念并依据相关随机性因素进行调整。

其次,利用软时窗限制约束条件,以优化最小惩罚函数为目标,改进 VRP-TW 算法,并使用插入式算法对其求解,最终实现整个旅行时间最短。最后,考虑灾区内突发事件的不确定性,探讨了基于实时信息的动态 VRP,以所有路线惩罚函数最小为目标,使用禁忌搜索法求解灾区内应急车辆送货路线的动态更新问题,最终实现运输成本总和最小化。在应急车辆数量相同、链条运行时间方差相同时,基于软时窗方法当遇到道路中断和车辆堵塞时会造成延误,故惩罚量最大;基于实时信息的动态 VRP 因为有 GPS、通信设施做保障,故惩罚量最小。

最后,在案例分析的基础上,根据研究结果提出未来研究方向。

李晓晖

2016 年 2 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	5
1.2 相关概念与理论基础	5
1.2.1 相关概念	5
1.2.2 理论基础	14
1.3 国内外研究综述	16
1.3.1 国外研究综述	16
1.3.2 国内研究综述	22
1.3.3 述评	29
1.4 研究内容与技术路线	30
1.4.1 研究内容	30
1.4.2 技术路线	32
1.5 研究方法 with 主要创新点	33
1.5.1 研究方法	33
1.5.2 主要创新点	34

第2章 通用应急和商业物流信息系统模型构建	35
2.1 引言	35
2.2 通用物流信息系统控制平面设计	41
2.2.1 控制数据管理 - CDM	42
2.2.2 管理信息数据库 - MIBs	44
2.2.3 用户界面接口 - GUI	49
2.2.4 路径计算单元 - PCE	53
2.2.5 扩展控制/数据接口 - XCDI	54
2.2.6 模拟评估系统 - EES	55
2.3 通用物流信息系统在应急物流中的应用	56
2.3.1 突发事件下的原料物流过程	57
2.3.2 突发事件下的成品物流过程	59
2.4 本章小结	60
第3章 骨干运输层外援应急物流与商业物流混合 调度问题研究	62
3.1 引言	63
3.2 问题假设和数学模型	65
3.2.1 模型假设	65
3.2.2 符号定义	65
3.2.3 收费标准	66
3.2.4 应急物流与商业物流混合调度模型	67
3.3 基于业务预测的调度模型	68
3.3.1 预测模型	68
3.3.2 调度过程	70
3.4 基于优先级的调度模型	70

3.4.1	应急需求预测模型	70
3.4.2	灾区需求迫切度计算	72
3.4.3	基于优先级的调度过程	76
3.5	仿真算例	77
3.5.1	参数设置	77
3.5.2	仿真结果	80
3.6	本章小结	86
第4章	应急物流中应急物资配送中心选址问题研究	87
4.1	引言	88
4.2	虚拟网络构建方法	90
4.2.1	虚拟网络概念	90
4.2.2	虚拟网络的构建	91
4.3	基于 p -中心模型的配送中心选址方法	93
4.3.1	p -中心模型概述	93
4.3.2	鲁棒最优化方法	94
4.3.3	鲁棒节点 p -中心模型	95
4.4	仿真测试结果	102
4.5	本章小结	104
第5章	应急物流中应急车辆规划与调度研究	106
5.1	引言	107
5.2	基于时空网络的随机性应急物资配送模型	109
5.2.1	时空网络有关概念	109
5.2.2	模型假设	112
5.2.3	符号系统	112

►► 应急物流规划与调度研究

5.2.4 随机性应急物资配送模型	114
5.2.5 模型求解	115
5.3 基于软时窗的应急车辆路径规划与调度模型	117
5.3.1 模型假设	117
5.3.2 模型描述	120
5.3.3 模型求解	122
5.4 基于实时信息的应急车辆动态路径规划与 调度模型	124
5.4.1 符号说明	124
5.4.2 数学模型	125
5.4.3 实时信息下的动态 VRP	127
5.4.4 车辆分配算法	130
5.4.5 基于禁忌搜索法的路线更新算法	133
5.5 算例仿真与结果分析	139
5.6 本章小结	143
 第6章 结论与展望	 145
6.1 结论	145
6.2 展望	147
 参考文献	 149

第 1 章

绪 论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

进入 21 世纪以来，全球范围内频繁发生的自然灾害和意外事故等突发事件，如台风、地震、战争、洪涝灾害等，对受灾地区的国民经济和广大民众的生命财产安全造成不同程度的破坏。

中国是世界上受自然灾害影响较为严重的国家之一，种类多、频度高、损失严重。数据分析，随着经济建设的发展灾害损失逐步增加，中国有 70% 以上的大城市、半数以上人口、75% 以上工农业产值分布在气象、海洋、洪水、地震等灾害严重的沿

海及东部地区,诸如此类的灾害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。

频繁发生的各种自然灾害,造成人员伤亡和经济损失,需要大量的应急物资,解决灾后重建、恢复生产、伤员救助、卫生防疫等问题。否则,受灾损失将会扩大,灾害有可能演化为灾难。

尽管科技发展日新月异,对自然灾害的预报达到相当水平,比如对洪水、台风等自然灾害可以预报它发生的地域、强度和季节,但诸如地震、山洪、火山爆发、泥石流、大面积食物中毒、矿井安全事故、突发性传染病等突发性自然灾害、公共卫生事件等都难于预报和预测。有些自然灾害虽然可以预报,但是因预报时间和发生时间相隔太短,应急物资难以实现其物流过程,危及公共安全的紧急事件催生出巨大的应急物流需求。^[1]

2003年,“SARS”危机爆发后,各级政府部门相继建立了突发事件的应急机制,制定了较为完善的应急预案,但这些预案多以加强和管理相关部门的紧急救援、后勤保障为核心,对如何在多个部门之间的应急联动机制尚无定案。2008年,防灾减灾工作全面推进,全国民政系统全力以赴组织开展抗灾救灾工作,紧急启动应急响应并及时发布救灾信息,实施《国家综合减灾“十一五”规划》,加快中央应急物资储备库建设,成功发射“环境与灾害监测预报小卫星” A 星、B 星。但遗憾的是,系统有效的应急物资供应规划却未得到充分重视。2009年,继续完善救灾应急机制,救灾应急工作取得实效,卫星遥感等高新技术在灾害监测评估中得到进一步应用,灾情管理信息系统基本实现省市县各级全覆盖。2009年,完成了《救灾物资储备库建设标

准》编制工作，并经住房和城乡建设部、国家发展和改革委员会联合批准发布实施。2009年，国务院出台《物流业调整和振兴规划》，将“应急物流工程”列为九大重点工程之一，并将《应急物流规划》纳入七大专项规划。在《全国物流标准 2009 ~ 2011 年专项规划》中，《应急物流企业条件评估》等三大标准的列入，实现了中国应急物流标准的“零突破”。2010年，防灾减灾服务应急工作高效有序，2010年《自然灾害救助条例》的颁布实施，填补了自然灾害救助的行政法规空白，增设7个中央级应急物资代储单位。如今，相关标准虽然有了雏形，但在实际操作中仍有难题。

在应急物流中，应急物资的运送是非常重要的，无论是雪灾还是地震，应急物资是否及时运送直接关乎灾区人民的生命安全。灾情发生后，灾区基础设施瞬间遭受严重破坏，如居民房屋倒塌、通信中断，同时众多民众失去生命、财产，随后，山体垮塌往往造成救灾进度缓慢，易于导致大量人员的二次伤亡，如何在灾难发生后计划、管理、控制应急物资和掌控资源流向，向灾民及时、准确地提供救援物资是应急物流的重要任务。

2005年1月26日，国务院第79次常务会议通过了《国家突发公共事件总体应急预案》，《国家突发公共事件总体应急预案》在2006年1月8日发布、实施并建立应急预案体系。《国家突发公共事件总体应急预案》针对各种可能发生的突发公共事件，完善预测预警机制，建立预测预警系统。根据预测分析结果，针对可能发生和可以预警的突发公共事件进行预警，根据突发公共事件可能造成的危害程度、紧急程度和发展态势，划分为“特别严重、严重、较重和一般”四个级别，并及时进行预警信息发布。对于特别重大突发公共事件，要及时汇报信息，最多不超过4小

时；要启动相关应急预案进行先期处置，开展应急救援工作。对于先期处置未能有效控制事态的特别重大突发公共事件，要及时启动相关预案，建立应急响应机制。^①2007年中国物流学会首次将《中国应急物流现状研究》等5个与应急物流相关的课题纳入年度研究规划，各级政府和各企业开始认识到应急物流的重要作用，应急物流得到政府庞大的资金支持和政策鼓励。

中国是一个自然灾害频发的国家，很多自然灾害都造成交通中断、建筑损毁、人员伤亡等巨大损失，每年处理应急事务中物流成本巨大。重大自然灾害等突发事件的爆发，往往需要大规模的紧急救援物资运输。灾害一旦发生，灾区最需要的就是食物、水和医疗物资。相关研究表明，在自然灾害应急响应过程中，由于应急救援物资来源的分散性、应急车辆运输能力的有限性，各种物资需求和供给的不确定性以及突发事件的随机性，使得应急救援工作面临严峻的考验。在未来很长一段时间，中国仍将面临应对自然灾害的严峻考验。在应急物资供应方面所表现出来的被动局面，也暴露出我们在应急物流信息系统方面、应急物流与商业物流混合调度方面、应急物资配送中心选址方面、应急车辆运输的规划与调度方面存在诸多不足之处。在一些应急救援过程中，应急物流系统在应对重大突发事件所表现出来的低效率引起学界的广泛关注，应急物流相关的科学研究应运而生。

基于以上背景，本书选取应急物流的规划与调度作为研究对象。为使灾区损失极小化，应该首先，建立一个应急物流信息系统，当灾害发生时解决应急物流和商业物流的信息统一接口问题，实现应急物流与商业物流的有效结合；其次，当灾害发生时，要对应急物流和商业物流实行混合调度，保证物流公司在承担应急物资运输的同时保证商业物流效益最

大化；再次，要选择合适的应急物资配送中心，满足应急物流的响应时间限制条件；最后，应该根据实时信息变化进行应急车辆的规划和调度。

1.1.2 研究意义

(1) 建立应急物流与商业物流通用信息系统模型，能够减少自然灾害损失，完善应急物流系统理论，具有重要的理论研究和政策指导意义。

(2) 建立应急物流与商业物流混合调度模型，能够保证物流公司在承担应急物资运输的同时保证商业物流效益最大化，具有重要的现实意义。

(3) 通过建立虚拟网络研究应急物资配送中心选址问题，能够优化配送中心个数，减少计算量，实现时间最短和距离最短，提高救援效率，具有理论价值和现实意义。

(4) 研究灾区内应急物资需求、道路状况和生存环境变化的情况下，应急车辆送货路线动态更新问题，并对模型进行扩展，完善了相关理论，为制定相关政策提供决策参考。

1.2 相关概念与理论基础

1.2.1 相关概念

(1) 应急物流的内涵及特点。

①应急物流的内涵。

美国学者在应急物流方面的研究起步较早。卡特在他的《灾害应急管理手册中》，通过对东南亚和太平洋地区自然灾害的深入研究，指出在灾害爆发后，政府和国家应当采取积极有效的应对措施，将应急物资进行适当的分类和管理，在最短的时间内配送到最需要的地点，这也是对应急物流内涵的早期描述。^[2]

在中国，人们逐渐意识到以追求经济效益最大化为驱动力的商业物流模式不利于应急物流的实现，由此展开了对应急物流的系统研究。在理论研究上，由于应急物流发展历史短暂，迄今尚无一个统一的定义。欧忠文等在国内外首次提出了“应急物流”这一概念，把应急物流定义为：为应对严重自然灾害、突发性公共卫生事件、公共安全事件及军事冲突等突发事件而对物资、人员、资金的需求进行紧急保障的一种特殊物流活动。^[3] 应急物流与普通物流一样，由流体、载体、流向、流程、流量等要素构成，具有空间效用、时间效用。应急物流多数情况下通过物流效率实现其物流效益，而普通物流既强调效率又强调效益。2006年，《国家标准物流术语》（GB/T 18354—2006）中将应急物流定义为：针对可能出现的突发事件已做好预案，并在事件发生时能够迅速付诸实施的物流活动。应急物流在很多文献中还被描述为灾害救援物流、人道主义救援物流等^[4~8]，其内涵是一致的。

② 应急物流的特点。

应急物流是一般物流活动的一个特例，它具有区别于一般物流活动的特点。

第一，突发性和不可预知性：这是应急物流区别于一般物流的一个最明显的特征。

第二，应急物流需求的随机性：应急物流是针对突发事件的物

流需求，应急物流需求的随机性主要是由于突发事件的不确定性。

第三，时间约束的紧迫性。

第四，峰值性。

第五，弱经济性：普通物流既强调物流的效率，又强调物流的效益，而应急物流在许多情况下是通过物流效率的实现来完成其物流效益的实现。

第六，非常规性。

第七，政府与市场的共同参与性。

(2) 应急物流与商业物流的区别。

应急物流与商业物流运作机理比较相似，都涉及计划、预备、设计、采购、运输、承包、仓储、派发和满意度调查、反馈等。简言之，两者的本质均在于，将正确的物品从正确的出发点运送到正确的目的地交由正确的接收者。但应急物流作为一种特殊的物流形式，具有自身的特质。表 1-1 概括了应急物流和商业物流的区别。

表 1-1 应急物流与商业物流的区别

特点	应急物流	商业物流
目标	服务时间最小化前提下服务成本最小，兼顾效率和公平；受灾人数最少	成本最小化，利润最大化
货物源	受应急物资聚集位置的影响	自行组织
需求信息	不可预知，呈动态变化	可预知
决策组织	不确定性决策	专业决策人员有组织、有计划地实施