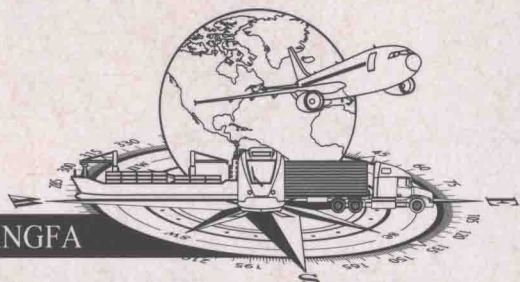


国家自然科学基金项目资助



YINGJI WULIU XITONG JUECE FANGFA

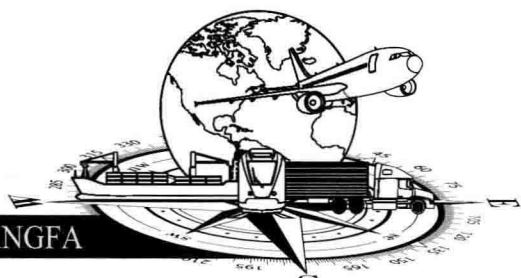
应急物流系统 决策方法

汪传旭 等◎著



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

国家自然科学基金项目资助



YINGJI WULIU XITONG JUECE FANGFA

应急物流系统 决策方法

汪传旭 等◎著



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 上海 ·

图书在版编目(CIP)数据

应急物流系统决策方法/汪传旭等著. —上海:华东理工大学出版社,2014.1

ISBN 978-7-5628-3757-2

I. ①应… II. ①汪… III. ①物流—系统决策—决策方法
IV. ①F252

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 316803 号



著者 / 汪传旭等

责任编辑 / 唐晓霞

责任校对 / 李 晔

封面设计 / 戚亮轩

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地 址: 上海市梅陇路 130 号, 200237

电 话: (021)64250306(营销部)

传 真: (021)64252707

网 址: press.ecust.edu.cn

印 刷 / 常熟华顺印刷有限公司

开 本 / 890 mm×1240 mm 1/32

印 张 / 7.25

字 数 / 173 千字

版 次 / 2014 年 1 月第 1 版

印 次 / 2014 年 1 月第 1 次

书 号 / ISBN 978-7-5628-3757-2

定 价 / 48.00 元

联系我们: 电子邮箱 press@ecust.edu.cn

官方微博 e.weibo.com/ecustpress

淘宝官网 <http://shop61951206.taobao.com>





前言

近年来,世界各地发生的大规模自然灾害为数不少,如1999年中国台湾地区南投县集集(Chichi)大地震、2003年伊朗巴姆(Bam)市地震、2004年印度洋海啸、2005年美国卡特里娜(Katrina)飓风、2011年3月11日日本东北部海域特大地震与大规模海啸等。这些灾害事件所导致的严重后果是有目共睹的。而我国也是世界上自然灾害种类最多、活动最频繁、危害最严重的国家之一。每年受台风、暴雨、干旱、高温热浪、沙尘暴、雷电等重大自然灾害影响的人口达4亿人次。1990—2006年统计数据显示,其间中国大陆每年因气象灾害造成的直接经济损失达1 859亿元,占GDP的比例平均为2.8%。

2008年以来,我国自然灾害事件频繁发生。其中,最为严重的灾害事件是:2008年1月中旬到2月上旬,我国南方地区发生的低温雨雪冰冻灾害,给人民生活和生命财产安全带来极大威胁,造成的直接经济损失达1 516.5亿元;2008年5月12日,四川汶川发生特大地震,造成69 197人遇难,374 176人受伤,18 237人失踪。造成房屋倒塌、严重损毁不能居住的近450万间,1 000多万人无家可归,造成的直接经济损失超过一万亿元,大量基础设施严重受损,工业、商业、农业损失惨重;2008年6月,广西、



广东、湖南、江西等 12 个省(市、区)遭遇强降雨袭击,476 个县市受灾,受灾人口 3 800 多万人,因灾死亡和失踪 200 多人,倒塌房屋超过 12 万间,直接经济损失 260 亿元。

随着我国经济社会的快速发展和人口的日益增长,经济和人口密度持续提高,重大自然灾害发生后受影响的人口总数和经济总量都会大大增加,灾害敏感区域和脆弱行业也越来越多。因此,重大灾害一旦发生,国家经济建设和人民生命及财产安全将受到越来越大的威胁。而灾后应急救援在减少人员伤亡和经济损失方面起着至关重要的作用,并已经成为当今社会十分关注的问题。重大灾害应急救援活动的一个重要内容是实现救援物资迅速而充足地供应给受灾地区。《孙子兵法》中写道:“兵马未动,粮草先行”。在重大灾害应急救援活动中,向受灾点及时提供充足的应对资源是应急救援的一项重要职能。因此,应急物流系统在救援活动中起着十分重要的作用。纵观我国发生的特大自然灾害,如 2008 年初的冰雪灾害、5·12 汶川地震灾害,从这些自然灾害发生后的救援过程不难发现,应急物流系统是影响救援进程的一个重要因素,其暴露的问题主要体现在两个方面:第一,救援物资配送不及时。往往当人们第一时间赶到灾害现场时,因为救援物资不能及时供应到位,使救援工作进度受到极大影响或者导致经济损失的进一步蔓延。如在 2008 年应对大面积雨雪灾害过程中,武汉市因库存工业盐供应不足而动用比工业盐成本高一倍的食用加碘盐防止路面结冰;部分地区因燃



气、成品油、粮食等物品缺乏,导致车辆不能正常补给、食品供应紧张等现象,从而严重影响了群众的生产和生活。汶川大地震后,在 48 小时之内,党中央救灾储备库的帐篷就已经被全部调空,但整个灾区帐篷缺口还在 80 万顶以上。第二,救援物资配送不协调。如汶川大地震,由于救援前线物资分配存在多种渠道分发、多指挥协调的混乱局面,导致一些救灾物资未能及时发挥作用。

由此看来,在突发事件中,如何在最短的时间内有效迅速地开展应急物流活动以保障人民生命安全是重中之重。事实上,从 2001 年美国发生“911 恐怖袭击事件”之后,突发事件就开始引起世界各国的普遍关注,世界各国均开始格外重视应急管理、突发事件的预警与应急决策系统的建设。但是,由于突发事件的突发性、不确定性、非常规性和时间紧迫性,以及在突发事件时应急物资分配的多种渠道分发和多种指挥协调的混乱局面,导致一些应急物资未能及时发挥作用,造成了应急物流规划的混乱和应急工作的延误,更加重了应急事件的损失。据估算,2003 年 SARS 给中国带来的经济损失中,由于应急物流机制不健全而造成的损失至少在 30 亿美元以上。2009 年,为了防止甲型 H1N1 流感在德国蔓延,德国卫生部门采取紧急措施,耗资数亿欧元生产和购买了 5 000 万支疫苗,而最终只用了 530 万支。如今,剩余的疫苗中的大部分已经失效,成为不可回收的废品。据德国媒体报道,2011 年 11 月 29 日,在德国中部城市马格德堡的垃圾焚烧厂,工人



员对 1 600 万支失效疫苗进行了销毁,直接经济损失达 2.39 亿欧元,这还不算销毁工作中的其他花费。

应当注意的是,虽然应急物流具有很强的时效性,但是其也具备了相对较弱的经济性,也就是说不可以忽略应急物流活动的成本。而根据目前的研究,应急物流的成本优化问题正是目前人们所忽视的,也是亟待广泛开展研究的。因此,建立高效而协调的应急物流系统,最大限度地实现救灾资源的合理配置,以适当的运输工具,将应急物资在最短的时间内运送到受灾点,并避免资源浪费或使用限制,是应急救援活动中迫切需要解决的关键问题。

在重大灾害应急物流系统中,一旦灾害发生,由于从救灾物资供应点到受灾点的全程运输距离和运输时间相对较长,为了提高救援效率,需要当地第一时间的紧急救援用于对重大灾害事件的立即响应。为此,灾情较重的受灾点会暂时从邻近的轻灾点紧急调集救灾物资以满足临时需求,当地各个受灾点之间的库存物资紧急转运,这些均不失为一种实现救灾物资供需协调、提高救灾保障程度、降低救灾资源消耗的良方。同时,在灾害发生以后,还需要省级甚至中央政府的后续支援。这往往先是由上级政府部门紧急调拨物资到受灾地区,再由当地政府选择和部署分发中心,由地区分发中心把救灾物资发送到当地受灾点。因此,后续救援物资往往需要从供应点经过长途运输到救灾物资分发点,再由分发点派发到受灾点,形成一个由救灾物资供应点、分发点、受灾点(即物资需求点)等



节点构成的三级供应链应急物流网络系统。在这种三级供应链应急物流网络系统中,当地各个受灾点之间第一时间的横向紧急转运策略,势必会影响后续应急救援纵向物流系统中物资分发点布局和物资调运网络。因此,结合受灾点之间的横向库存物资紧急转运策略,来确定后续应急救援物流系统中的物资分发点分布和物资调运网络,有利于进一步提高灾后救援效率和救灾资源的利用率。同时,灾害后续应急救援物资分发点布局,与调运优化也成为受灾点之间的库存物资实现合理转运的重要保障策略之一。

基于上述考虑,本书研究受灾点的库存物资应急转运模式,以及后续应急救援物流的不确定性物资分发点排队选址和物资调运优化问题,研究不同转运模式下的受灾点物资库存策略(库存规模、自给比例和转运比例),研究救援物资分发点对受灾点的不确定性排队选址问题,并在此基础上提出不确定性应急物资调运多层优化策略。本书对于丰富我国应急管理与应急物流理论研究、推动我国管理科学与物流管理等学科的完善具有较强的学术意义,同时对于提高重大灾害救助服务程度、实现救灾资源优化配置和降低救灾资源消耗也具有较强的现实意义和借鉴价值。

本书共分 12 章,其中第一章由汪传旭撰写,第二章到第五章由汪传旭、刘学恒和许长延撰写,第六章到第七章由汪传旭和陈鑫撰写,第八章由汪传旭撰写,第九章由奚程撰写,第十章到十二章由汪传旭和边际撰写。



本书的写作得到了作者所在单位领导和诸多同事的热情关心和支持,他们为我们提供了宝贵的时间和良好的写作环境,在此表示由衷的感谢!本书在写作过程中,得到了上海海事大学蒋良奎副教授、上海海事大学研究生彭翀的大力支持,他们分别对本书中的部分模型计算、部分数据资料搜集给予了帮助,在此也向他们表示真诚的谢意!

本书从思想形成到付梓成书,虽然历时三年有余,但作者仍感到还存在不妥之处。对书中所存在的缺陷和不足,欢迎各位专家学者、广大读者不吝指教。

汪传旭

2014年1月1日



目录

1	▶ 第一章 基于应急救援物资单向转运的受灾点库存策略
4	一、问题描述与模型参数
5	二、受灾点满足需求的各种比例计算
8	三、库存策略优化模型
9	四、模型求解
12	五、算例
13	六、结论
15	▶ 第二章 随机需求下基于应急转运的库存策略
17	一、模型的建立
20	二、模型主要变量的确定
28	三、算例分析与求解
37	四、结论
38	▶ 第三章 随机需求下考虑时限和需求就近满足的基于应急转运的库存策略
41	一、模型的建立
43	二、模型主要变量的确定



48	三、转运模式不同对库存策略影响分析
52	四、算法分析与求解
59	五、结论
60	▶ 第四章 随机需求下考虑库容限制和需求优先的 基于应急转运的库存策略
63	一、模型的建立
67	二、模型建立和相关计算
76	三、算例分析
80	四、结论
82	▶ 第五章 模糊需求下多准则多限制多级多物品基 于应急转运的库存策略
85	一、模型的建立
89	二、模型建立和变量计算
96	三、算例分析与求解
106	四、结论
108	▶ 第六章 模糊随机需求下应急救援中心选址优化 模型
110	一、模糊随机变量
112	二、问题的描述与模型的建立
113	三、模型算法
115	四、算例
118	五、结论



119	▶ 第七章 模糊随机需求下应急救援中心排队选址模型及算法
120	一、 $M/M/1$ 排队系统
121	二、问题的描述与模型的建立
125	三、模型算法
126	四、算例与小结
132	五、结论
133	▶ 第八章 应急救援物流中不同救援覆盖程度下物资分发点模糊排队选址决策
134	一、基本模型
136	二、模糊排队最大覆盖选址模型
142	三、模型求解
143	四、算例分析
146	五、结论
147	▶ 第九章 基于受灾点分组的应急救援物资调运优化
149	一、基于模糊聚类的受灾区域分组及区域优先级识别
151	二、受灾区域模糊聚类分组
153	三、受灾区域优先级识别
154	四、算例分析
162	五、应急物资分配优化模型
171	六、结论



172	▶ 第十章 物资需求随机下考虑道路中断的应急物资调运优化
173	一、参数描述及模型构建
175	二、基于 L 形算法的转化
178	三、模型求解
181	四、算例分析
186	五、结论
187	▶ 第十一章 物资需求确定下考虑供应中断应急物资调运优化
188	一、参数描述及模型构建
191	二、模型求解
192	三、算例分析
195	四、结论
197	▶ 第十二章 物资需求随机下考虑道路与供应中断的应急物资调运优化
197	一、参数描述及模型建立
201	二、模型求解
203	三、算例分析
207	四、结论
209	参考文献



第一章 基于应急救援物资单向转运的受灾点库存策略

在重大灾害应急物流系统中,一旦灾害发生,由于从救灾物资供应点到受灾点的全程运输距离和运输时间相对较长,为了提高救援效率,需要当地第一时间的紧急救援用于对重大灾害事件的立即反应。为此,灾情较重的受灾点会暂时从邻近的轻灾区紧急调集救灾物资以满足临时需求,当地各个受灾点之间的库存物资紧急转运不失为一种实现救灾物资供需协调、提高救灾保障程度、降低救灾资源消耗的良方。

目前,国内外学者在产品转运方面开展了相应的研究。这些研究侧重于产品应急转运和服务零部件应急转运两个方面。在产品



应急转运方面,最初的研究起源于 Krishnan 和 Rao(1965),他们针对带有中心化库存和独立需求的很多零售商,建立零售商之间的产品转运模型。此后,Tagaras(1989)、Herer 和 Rshit(1999)根据其模型框架开展了进一步研究。Rudi et al. (2001)针对两个不同地点的零售商之间的产品转运问题,研究集中决策和分散决策情形下的零售商最优库存水平,并比较分析了两种情形下的利润水平;Dong 和 Rudi(2004)针对由一个制造商和多个零售商形成的流通系统中,研究制造商批发价格分别为外生变量和内生变量情形时,零售商之间的产品转运对制造商和零售商利润的影响。上述模型都假定应急转运时间为零。Lee et al. (2007)考虑零售商三种转运策略(基于可利用库存的转运、基于库存等同化的转运、基于可利用库存和库存等同化的转运),引入产品转运时间因素,通过算例仿真方法从零售商总成本(库存短缺成本、库存持有成本、运输成本和订单成本之和)最小的角度与不转运进行了比较分析。

在服务零备件应急转运方面, Lee(1987)针对服务零备件物流,考虑库存设施之间的应急转运,建立多阶段库存模型,求解通过现有库存满足需求和通过应急转运满足需求的合理比例。Sherbrooke(1992)在前述模型基础上,进一步考虑允许订单延迟满足(backorder)的应急转运模型,并采用仿真方法对模型进行求解。上述模型都假定应急转运时间为零或者忽略不计。此后,有些文献放松了该假设,在研究服务零备件应急转运问题时进一步考虑非零应急转运时间,如 Tagaras 和 Dimitrios(2002)分析了各种需求分布时应急转运的效果;Wong et al. (2006)考虑两库存点存在转运时多备件库存优化模型,该模型目标是实现库存持有成本、侧向转运成本和应急供应成本之和最小化,同时考虑库存点备件平均等待时间(包括转运时间)约束。Kutanoglu 和 Mahajan(2008)针对由一个中



心仓库和多个区域仓库所组成的两级服务零备件流通系统,建立区域各个仓库存在应急转运时库存水平优化的非线性整数规划模型,该模型以总成本(库存成本、运输成本和缺货惩罚成本之和)函数作为目标函数,将不同时间窗的服务水平作为约束条件。

国内在该方面研究相对较少,近年来也有学者涉足服务零备件和产品应急转运问题。黄朔和陈剑(2003)探讨了多个销售商之间通过侧向转运实现合作的可能性。霍佳震和李虎(2007)建立了零备件库存多点转运的批量订货模型,给出了各库存点需求由自身满足、通过转运满足和发生缺货概率的近似算法,在此基础上提出了以服务水平为约束,以库存成本和转运成本最小为目标的规划模型,给出了已知订货批量,求最优订货点的算法。温涛和黄培清(2007)针对一个多零件二级存储系统,考虑顾客订单类型有多种且随机到达,分析不允许转运和允许转运情形下的缺货水平,并通过数值分析得到,转运能够降低缺货水平。黎继子(2007)、刘春玲(2007)针对不同单链式供应链中零售商之间的产品转运情形,建立了库存模型,并通过算例仿真分析库存转运所带来的效果。钱宇和陈剑(2008)考虑由一个制造商和两个批发商组成的供应链,研究分散决策情形下批发商之间存在转运时的制造商最优定价决策和批发商最优订货决策,并通过数值分析得出,转运能够提高供应链效率。

上述研究在应急转运方面开展了多维度探索,并不局限于单向转运。本书考虑灾害发生以后,由于受灾点之间受灾程度的不同,救援物资由灾情较轻的受灾点向灾情较严重的受灾点单向转运的情形。尽管 Axsater(2003)也对一般产品的单向转运问题进行了研究,但仅仅考虑三个仓库之间的单向转运问题,没有考虑基于时间窗的服务效率问题。此外,其研究的目的是将所建立模型的运行结果与模拟结果进行比较,说明模型的有效性。本章考虑多个受



灾点之间救援物资的单向转运问题,并在此基础上考虑基于时间窗的救援效率约束条件,同时实现所有受灾点的成本消耗最小,建立各个受灾点救援物资进货水平优化的整数非线性规划模型,并设计基于隐含枚举法的模型求解算法。

本章考虑由多个受灾点组成的单阶段系统,各个受灾点之间存在单向转运。在受灾点满足救援效率水平的前提下,并在尽可能降低救援费用基础上,确定各个受灾点救援物资需求依靠从其他受灾点转运得到满足的比例、直接从本身库存中得到满足的比例及各个受灾点从外部物资分发点的救援物资补货点。首先,本章考虑各个受灾点物资补货点一定条件下,建立模型确定各个受灾点救援物资需求依靠从其他受灾点转运得到满足的比例和直接从本身库存中得到满足的比例。其次,建立各个受灾点救援物资补货水平优化的整数非线性规划模型,并考虑基于时间窗的救援效率水平约束,设计基于隐含枚举法的模型求解算法。最后,运用算例对模型及其求解算法进行了模拟运算,从而验证了模型的有效性和实用性。

一、问题描述与模型参数

本章考虑受灾点之间存在单向物资转运,考虑 n 个受灾点面临独立的救援物资随机需求,受灾点 i 需求的均值为 μ_i 、标准差为 σ_i 。一般情况下,各个受灾点从物资分发点调运救灾物资,本章假设受灾点采用类似于 (R, Q) 库存策略从物资分发点补充救援物资,而且假设从物资分发点到救灾点的运输时间一定。一旦受灾点 1 发生物资短缺,如果受灾点 2 有剩余物资,就立即从受灾点 2 转运救灾物资。同理,受灾点 2 可以从受灾点 3 转运救灾物资,以此类推。这意味着,在受灾点 1 和 2 同时存在物资短缺时,受灾点 1 可以从