

河南省高校新型智库

“粮食经济与现代物流”丛书

《突发事件下的粮食物流》系列

粮食应急供应网络： 模型、仿真及优化

王 琳 侯云先 李凤廷...著

Emergency Grain Supply Network:
Model, Simulation and Optimization



中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

河南省高校新型智库

“粮食经济与现代物流”丛书

《突发事件下的粮食物流》系列

粮食应急供应网络： 模型、仿真及优化

王 琳 侯云先 李凤廷…著

Emergency Grain Supply Network:
Model, Simulation and Optimization



中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

粮食应急供应网络: 模型、仿真及优化 / 王琳, 侯云先, 李凤廷著.

北京: 中国经济出版社, 2017. 9

ISBN 978-7-5136-4827-1

I. ①粮… II. ①王…②侯…③李… III. ①粮食储备—研究—中国 IV. ①F324. 9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 210681 号

责任编辑 张 户

责任印制 巢新强

封面设计 华子图文

出版发行 中国经济出版社

印 刷 者 北京九州迅驰传媒文化有限公司

经 销 者 各地新华书店

开 本 710mm×1000mm 1/16

印 张 10.5

字 数 135 千字

版 次 2017 年 9 月第 1 版

印 次 2017 年 9 月第 1 次

定 价 58.00 元

广告经营许可证 京西工商广字第 8179 号

中国经济出版社 网址 www.economyph.com 社址 北京市西城区百万庄北街 3 号 邮编 100037

本 版 图 书 如 存 在 印 装 质 量 问 题, 请 与 本 社 发 行 中 心 联 系 调 换 (联 系 电 话: 010-68330607)

版权所有 盗版必究 (举报电话: 010-68355416 010-68319282)

国家版权局反盗版举报中心 (举报电话: 12390)

服务热线: 010-88386794

序 言

突发灾害通常会造成重大的人身和财产损失，严重威胁着人们的生命健康和财产安全。完善的粮食应急供应网络对于保障国家粮食安全、应对突发事件和稳定粮食市场价格起到至关重要的作用。习近平指出：“保障粮食安全对中国来说是永恒的课题，任何时候都不能放松。”事实上，中国和国际上多年来的一系列事件表明，在全社会粮食供求形势总体良好的情况下，仍然可能发生由于突发事件而引起的一定区域内的公共性的粮食不安全事件。

为完善我国粮食应急体系，提高重特大突发事件下粮食应急供应能力，本书主要研究了以下内容：在对国内外有关粮食应急供应网络研究成果进行系统梳理的基础上，通过实地调研和文献整理把握我国粮食应急供应网络的发展现状，掌握我国粮食应急供应网络实际的运作过程；分析粮食应急供应网络结构并探讨其运作机理，并在此基础上建立粮食应急供应网络运作的系统动力学模型；通过系统仿真方法挖掘影响粮食应急救援效果的关键因素，并根据这些关键因素建立粮食应急供应网络的选址—库存模型和车辆路径模型；通过设计算法求解，实现粮食应急供应网络的优化；对北京市房山区的粮食应急网络建设进行实证研究；最后，对研究结论进行了总结，并指出进一步的研究方向。

本书得到了国家社科基金“粮食应急储备网络运作机理与模型优化研究”（14BGL062）、“面向突发事件的粮食安全情景构建及物流保障

研究”（17BGL126）、河南省教育厅人文社会科学研究项目“突发灾害下粮食应急供应方案生成方法研究”（2018-ZZJH-111）、河南省省属高校基本科研业务费专项资金项目“突发灾害下粮食应急网络模型优化研究”（2017SKJJ06）、河南工业大学高层次人才基金“粮食应急储备网络风险测度及模型优化研究”（2015SBS014）、河南省高校社科创新团队资助计划项目“粮食现代物流管理创新团队”以及河南省高校人文社科重点研究基地河南工业大学物流研究中心资助。

本书共七章内容，由侯云先教授总体设计，李凤廷博士承担第一、二、四章的撰写，其余章节由王琳完成。本书吸收了河南工业大学粮食应急研究所的部分创新性工作，同时参阅和借鉴了国内外大量的最新研究成果。在此，一并向上述参编人员、单位及学术界相关师友和作者们表示衷心的感谢。

在此，特别感谢中国经济出版社的张户编辑及其同人，正是由于他们卓有成效的工作，才使得本书得以快速出版。

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 国内外研究现状	7
1.3 研究目标与内容	22
1.4 研究方法、思路与主要创新之处	26
第二章 粮食应急供应网络现状及运作机理研究	32
2.1 粮食应急供应网络相关概念界定	32
2.2 我国粮食应急供应网络现状	34
2.3 粮食应急供应网络运作过程	38
2.4 粮食应急供应网络运作机理	48
2.5 本章小结	57
第三章 粮食应急供应网络风险测度研究	58
3.1 问题的提出	60
3.2 粮食应急供应网络运作风险测度仿真	62
3.3 不同灾害情境下的粮食应急供应网络运作对比	70

3.4 粮食应急救援效果的影响因素分析	81
3.5 本章小结	88
第四章 粮食应急供应网络选址—库存优化研究	90
4.1 问题的提出	91
4.2 问题描述	93
4.3 粮食应急供应网络选址—库存优化模型	96
4.4 算法设计	98
4.5 算例分析	99
4.6 本章小结	103
第五章 粮食应急供应网络车辆路径优化研究	104
5.1 问题的提出	105
5.2 问题描述	106
5.3 粮食应急配送的车辆路径模型	109
5.4 算法设计	113
5.5 算例分析	115
5.6 本章小结	120
第六章 北京市房山区粮食应急储备库配置研究	122
6.1 房山区概况	123
6.2 房山区典型公共事件案例：“7.21”特大暴雨	127
6.3 房山区粮食应急储备库优化配置	128
6.4 房山区粮食应急储备库布局及功能优化的建议	135
6.5 本章小结	136

第七章 研究结论与展望	137
7.1 主要研究结论	137
7.2 研究展望	140
参考文献	142

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

突发灾害通常会造成重大的人身和财产损失，严重威胁着人们的生命健康和财产安全。据统计，全球每年发生 500 多起突发事件，平均造成 75000 人死亡，受灾人员达到 2 亿人以上。特别是进入 21 世纪以来，地震、海啸等自然灾害和各类恶性传染疾病等公共卫生事件更是频繁发生，比如：2001 年 6 月秘鲁南部 8.4 级地震与海啸，2003 年席卷全中国的 SARS 疫情，2004 年 12 月印尼苏门答腊岛 7.9 级地震及海啸，2005 年 8 月美国南部“卡特里娜”飓风和 10 月南亚大地震，2006 年 7 月印尼爪哇岛 6.8 级地震及海啸，2007 年 1 月太平洋千山群岛和 4 月所罗门群岛 8.0 级地震及海啸，2008 年我国南方重大雪灾和同年 5 月的汶川 8.0 级地震，2009 年波及全球的甲型 H1N1 流感，2010 年 2 月智利 8.8 级地震、4 月我国青海玉树地震、8 月甘肃舟曲的特大泥石流、10 月印尼苏门答腊 7.2 级地震及海啸，2011 年日本“3.11”里氏 9.0 级地震和由此引发的核泄漏事件，2012 年 4 月的斐济洪水和 12 月菲律宾南部洪灾，2013 年 6 月印度洪涝灾害、7 月我国四川盆地及西北、华北

地区洪涝灾害、8月巴基斯坦洪水灾害、11月菲律宾“海燕”台风，2014年我国东北、黄淮旱灾及南方洪涝灾害、云南鲁甸与新疆玉田地震等，这些突发事件对受灾地区人民的生命和财产造成了重大损失，严重影响了灾区经济发展。我国是世界上遭受自然灾害最严重的国家之一，据《2014年全国自然灾害应对工作总结评估报告》显示，2014年，我国各类自然灾害共造成全国24353.7万人次受灾，1583人死亡，235人失踪，601.7万人次紧急转移安置，298.3万人次需紧急生活救助；45万间房屋倒塌，354.2万间不同程度损坏；农作物受灾面积24890.7千公顷，其中绝收3090.3千公顷；直接经济损失3373.8亿元。面对日趋频繁发生的各种自然灾害和突发事件，提高应对突发事件的能力成为目前各国政府部门和学者十分关注的问题。

为应对各类突发事件，提高突发事件应对能力，各国已建立应对各类突发事件的应急预案。但是，由于此类事件通常难以预测且发生迅速、响应时间要求高、应急物资需求量巨大甚至应急设施受损等原因，应急救援物资无法第一时间满足灾区需求，应急救援效果相对较差。应急救援物资在应对突发灾害事件中起到至关重要的作用，做好应急物资储备工作是保障突发事件物资供应、提高应急救援效率、减少灾区人员伤亡和经济损失的重要基础，也是决定突发事件应急工作成功的关键环节。我国政府在2006年1月颁布实施的《国家突发公共事件总体应急预案》中提出，要建立健全应急物资监测网络、预警体系和应急物资生产、储备、调拨及紧急配送体系，完善应急工作程序，确保应急所需物资和生活用品的及时供应，并加强对物资储备的监督管理，及时予以补充和更新；地方各级人民政府应根据有关法律、法规和应急预案的规定，做好物资储备工作。2007年11月我国实施的《中华人民共和国突发事件应对法》第32条规定，国家建立健全应急物资储备保障制度，

完善重要应急物资的监管、生产、储备、调拨和紧急配送体系；设区的市级以上人民政府和突发事件易发、多发地区的县级人民政府应当建立应急救援物资、生活必需品和应急处置装备的储备制度；县级以上地方各级人民政府应当根据本地区的实际情况，与有关企业签订协议，保障应急救援物资、生活必需品和应急处置装备的生产、供给。目前，我国正在逐步完善国家级应急物资储备库建设，储备库由原来的 10 个（天津、沈阳、哈尔滨、合肥、郑州、武汉、长沙、成都、南宁和西安）增加到 24 个，同时，部分省、市、县也建立了相应级别的应急物资储备库，逐步形成国家、省、市、县四级政府应急物资储备体系。

虽然我国已初步建立了较为完善的应急物资储备网络，并储备了相当数量和相当种类的应急救灾物资，能够在突发事件紧急救援中发挥重要的作用，但目前对粮食这一特殊应急物资的储备网络建设起步较晚。区别于其他应急物资，粮食在应对突发事件时，对保障灾区人民生活、挽救灾区人民生命起到的作用不言而喻。尤其近些年来，突发公共事件的频繁发生，对粮食实物储备体系提出了很高的要求，必须保证能够在灾情救助的第一时间将数量充足、质量完好的应急成品粮及时送达灾区。除此以外，粮食储备更是关系国家粮食安全、保障经济发展和社会稳定的关键物质基础。国际形势的日趋复杂给国际粮食市场带来了剧烈的冲击，粮食市场价格关系国计民生，粮食安全问题对于稳定民心尤为重要。基于保障国家粮食安全、应对突发事件和稳定粮食市场价格等目的，我国已建立了较为完善的中央和地方粮食储备体系，在一定程度上起到了应急保障的作用。但随着国际形势的日趋复杂及突发灾害事件的频繁发生，我国目前的粮食储备体系暴露了新的问题，主要表现为：我国当前的粮食储备以原粮为主、粮食储备种类单一、储备体系结构不完善，一旦突发灾害事件发生，从原粮转化为成品粮尚需一定的时间和

转化条件，比如：2008 年我国雨雪冰冻灾害、“5.12”汶川地震及 2010 年青海玉树地震的应急救援过程均暴露了成品粮应急供应不到位的问题。因此，只有将成品粮储备纳入粮食应急储备体系，完善粮食应急储备制度，优化粮食应急供应网络才能进一步强化粮食应急储备体系的保障作用，提高粮食应急的快速反应能力，确保粮食应急供应，增强国家的应急保障能力。

在粮食应急储备方面，我国已出台了一系列的政策措施，比如：《国家粮食安全中长期规划纲要》（2008—2020 年）中指出：“重点大中城市要适当增加成品粮油储备，做好粮油市场的应急供应保障”；《粮食行业“十二五”发展规划纲要》指出：“全国省级粮食应急指定加工企业从 1700 个增加到 2000 个，供应企业从 4000 个增加到 5000 个。全国大中城市成品粮油应急储备规模应满足 15 天以上的社会消费需要”；《粮油加工业“十二五”发展规划》强调：“完善应急加工供应体系，抓紧改造一批粮油应急加工企业和供应网点，建立快速反应、准确高效的应急加工和供应网络，以应对自然灾害或突发事件时粮油应急保障的需要”。各级地方政府也出台各种管理办法，将粮食应急供应网络建设纳入发展规划，对粮食应急储备各环节的运作办法及管理措施提出明确的说明，比如：《北京市储备粮管理办法》《四川省省级储备粮油管理办法》《浙江省储备成品粮管理办法（试行）》《陕西省省级成品储备粮管理办法（试行）》《苏州市地方储备粮油管理办法》《无锡市地方储备粮油管理办法》《郑州市市级应急成品储备粮管理暂行办法》等。

尽管我国粮食储备在应对非常规突发事件方面做出了很大的贡献，但也存在一些不足之处，比如：在进行粮食储备库选址时采取的是单一网点、单个阶段、定性分析的选址策略。选址时仅对单个储备设施选址

而非区域性的网络选址，势必会忽略多个储备库之间的量关联与流量影响；选址时仅考虑单个阶段的运营决策而非系统性、全局性的多阶段决策，将灾前的储备库选址与灾后的储备粮应急配送割裂开来，导致运营的次优化，运营成本过高，应对灾害的代价太大；选址时采用定性分析而非科学化、定量化、可模拟的优化方法，同样会造成严重的灾害后果。针对上述问题，首先，对粮食应急供应网络的优化必须先明确粮食应急供应网络各节点的运作过程及作用机理；其次，在粮食储备库的选址问题上需要运用系统的思想，考虑区域性而非单一地点的粮食储备库选址问题，粮食应急的公益性和经济性并重，兼顾粮食储备库的库存策略及服务半径问题；再次，要考虑灾害应急时粮食的应急配送问题。本书将在前人研究的基础上对粮食应急供应网络结构进行分析，探讨各主体的作用功能和主体间的行为关系，探讨粮食应急供应网络运作过程及作用机理，并对影响应急效果和应急成本的关键元素在灾区的动态特征和系统对其的反应进行仿真分析，随后建立基于粮食应急储备的选址—库存模型和粮食应急储备的车辆路径模型，通过设计启发式算法求解，确定代储企业的空间布局，粮食储备的库存以及配送策略等，实现区域应急资源的优化配置，丰富设施选址理论在粮食应急储备库选址决策中的应用，力求为区域应急管理起到一定的指导作用。

1.1.2 研究意义

粮食应急供应网络对于保障国家粮食安全、应对突发事件和稳定粮食市场价格起着至关重要的作用，及时、充足的粮食供应不仅是应急救援活动的前提，更是灾区恢复重建的保障。由于我国粮食应急储备起步较晚，粮食应急供应网络建设不够完善，对粮食应急供应网络的研究缺乏科学系统的分析，只有把握粮食应急供应网络运作机理才能确定最优

的粮食储备网络空间布局、库存策略及配送策略。因此，本书对粮食应急供应网络运作机理及其模型优化的研究，可以使得粮食应急供应网络更有效地运作，应急救援活动更加顺利，从而最大限度地提高应急救援效果，降低灾区损失，保障灾民生命安全。

1.1.2.1 理论意义

(1) 应急物资种类很多，不同种类的应急物资对储备库的选址、库存及配送策略有不同的要求。但目前的相关研究并未对应急物资进行分类研究，而针对粮食这一特殊应急物资的研究更少。粮食在应急救援活动中的作用至关重要，对粮食应急供应网络的研究很好地完善了当前有关应急物资的研究现状。

(2) 粮食应急供应网络是一个复杂的系统，在研究过程中不能仅考虑单个阶段的运营决策，如果将粮食储备库的选址与其库存策略割裂开来，会导致运营的次优化，表现为运营成本过高，灾害救助的代价太大。因此，本书在粮食应急供应网络布局优化时将选址问题和库存问题同时纳入模型，改变了目前对应急物资储备网络单独环节独立研究的现状。

(3) 针对粮食应急网络风险的研究，本书采用了系统动力学方法，有效地避免了传统风险评估方法的不足。传统的风险估计方法并不适用于灾害风险的测度，因为突发灾害事件发生的概率难以量化，其对物资供应绩效的影响很难评估。同时，传统风险估计方法只适用于单个风险的评估，而突发灾害往往导致需求、生产、运输等多个环节发生突变风险，选用系统动力学方法可以有效避免突发事件风险难以量化的问题，为其他学者的相关研究提供新的思路。

1.1.2.2 现实意义

(1) 通过对我国粮食应急供应网络运作机理的研究，可以从根本上

把握我国粮食应急储备的现状,挖掘目前我国粮食应急储备存在的问题,并提出相应的对策建议,以便相关部门有针对性地做出调整和完善,为相关部门制定政策法规、预案规划提供一定的指导和借鉴作用。

(2) 在把握粮食应急供应网络运作机理的基础上进行系统动力学仿真研究,挖掘影响粮食应急救援效果和应急成本的关键元素,可以为改善粮食应急储备实践提供理论依据,完善粮食应急供应网络建设、提高粮食应急救援保障能力。

(3) 对粮食应急供应网络进行优化研究,系统分析粮食应急储备过程中的选址问题、库存策略和配送路径,对我国进一步完善粮食应急供应网络,提高粮食应急保障能力有重要的实践意义。

1.2 国内外研究现状

21 世纪以来,全球范围内非常规突发事件不断发生,SARS 危机、禽流感、印度洋海啸、2008 年我国南方雨雪冰冻灾害、汶川地震、甲型 H1N1 流感、青海玉树地震、甘肃舟曲泥石流等都造成了巨大的人员伤亡和财产损失。日益频繁的突发事件引起世界各个国家和地区对应急管理的重视,并推动了对应急管理的研究和相关体系的建立。

突发事件具有突发性和紧急性、高度不确定性、复杂性、破坏性、持续性和衍生性、必然性和可控性等特征 (Ali Farazmand, 2001; 孙崇勇, 2005)。因此,在非常规突发事件的预防和应对方面,世界各国政府和专家学者研究的焦点主要集中在如何完善应急救援体系 (高峰, 2011)。在灾害发生之前,如何确定应急备用物资的储备策略使其既能满足救援需求,又能最大限度地降低成本? 应急物资储备库如何选址可以最大限度地覆盖灾区同时又能满足时间服务约束? 在灾害发生时,如

何疏散安置灾区人民，并提供生活急需品？灾害发生之后，在向灾区配送应急救援物资的时候，如何选择路径才能满足时间的紧急性和需求的迫切性？如果应急设施（如储备库、道路等）受到破坏无法按预期发挥作用，那么如何选择调运和补货策略也是亟待解决的重要问题。

从目前的研究来看（见图 1-1，有人员、物资流动方向的用实箭头标示，如人员疏散、应急物资配送等；无明显流动方向的用实线标示，如设施选址等），可以将已有的研究分为灾前和灾后两个方面。在灾前方面，主要的研究焦点和研究成果集中于应急设施的选址、应急物资储备（陆相林，2010；陆相林，2011）、非常规突发事件的灾前预测及人员疏散；在灾后方面，应急物资配送、灾区人员疏散及伤亡转移、灾区医疗救助也是国内外学者的研究焦点，这些研究取得了一定的研究成果。

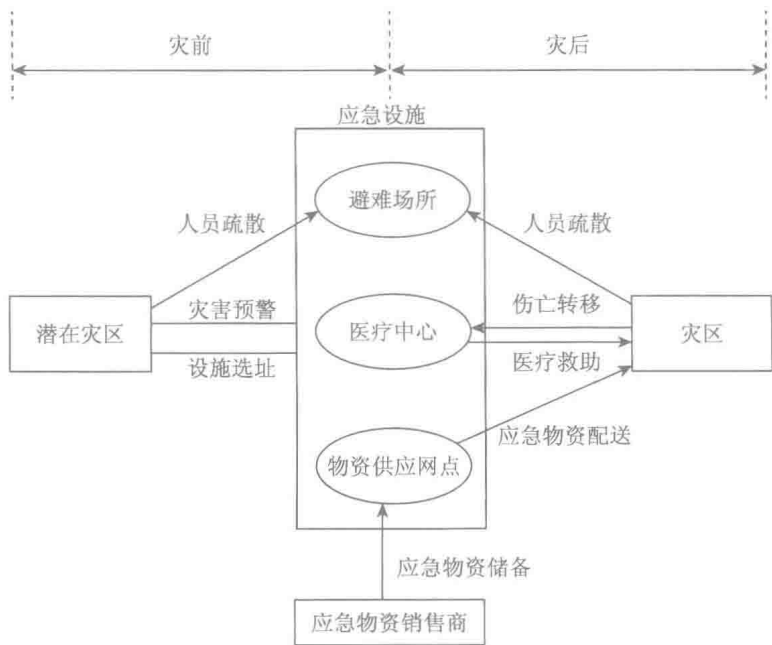


图 1-1 应急救援管理研究现状

其中，有关应急设施选址的研究是在供应链网络优化基础上进行的

拓展和改进,但传统的供应链配送中心选址问题是基于设施选址问题(Facility Location Problem,缩写为FLP)和库存理论,确定多个设施(仓库、工厂、机器等)的数量和位置以及客户如何分配并使得总成本最低,并没有考虑应急救援活动的公益性和人道主义的特点(满足灾区需求为主,降低应急成本为辅)。

另一方面,Daskin et al. (2002)的选址—库存模型为应急设施选址的研究提供了新的思路。选址—库存(Location-Inventory),也可以称为选址—库存联合优化(Joint Location-Inventory),是在对设施网络布局研究的同时考虑战略层面的选址问题与运作层面的库存问题。选址—库存模型的初衷是在一个设定的分销网络内解决配送中心的配置问题,针对应急物资储备的研究可以用于解决最优的应急物资储备库数量、应急物资储备库的位置、分配给每个应急物资储备库的应急需求点、应急物资储备库的库存策略。

我国突发事件应急管理的研究起步较晚,在应急救援管理方面的研究相对较薄弱;同时,从应急救援工作的实际来看,也存在由于应急物资储备和配送问题而导致的不能及时满足救助活动需求的情况。为了保障应急预案的顺利实施和救助活动的开展,最大限度地预防和应对非常规突发事件,有必要以建立区域应急物资保障体系为目的,对应急物资的储备和配送进行系统研究。鉴于此,本书系统整理了目前国内外相关的文献,从粮食应急储备、供应链风险、应急设施选址、选址—库存理论及车辆路径问题进行述评,为国内外学者开展应急救援管理研究提供参考。

1.2.1 粮食应急储备

突发灾害事件会导致短期内应急物资需求量剧增,因此,对应急物资保障体系建设的要求更高,应急物资储备问题也亟待解决。通过文献