

运筹学在应急物流中的一些应用*

韩继业¹, 刘德刚¹, 朱建明²

(1. 中国科学院 数学与系统科学研究院, 北京 100080 ; 2. 中国科学院 研究生院工程教育学院, 北京 100049)

摘要 本文首先简述了突发事件和应急物流的概况, 总结出应急物流具有突发性、紧迫性、弱经济性、信息不确定和物资需求量大等特点。其次介绍了国外关于应急物流中应急物资选址问题和配置问题的研究中运筹学模型的应用。早期文献中多针对常规突发事件进行研究, 选址模型主要为覆盖模型、 p -center 模型、 p -median 模型 3 类。目前关于大规模非常规的突发事件的应急物资选址问题和配置问题的研究多通过对灾难下需求的情景分析和风险分析, 来确定合理的资源布局, 相应的数学模型大多是整数规划、多目标规划、网络流、随机规划等。本文还介绍了应急物流中物资调度问题研究的一些运筹学模型, 模型中将物资的配送和运输工具的分派结合起来考虑。本文还提出了应急物流中一些待研究的重要问题。最后列举了近年内国际上关于应急物流的重要参考文献。

关键词 应急物流, 选址, 配置, 调度, 模型, 算法

中图分类号: O221

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2011)05-0001-06

1 概述

应急物流(Emergency logistics)是近年来应急管理研究中的一个新课题, 得到国际上学术界和政府有关管理部门越来越多的关注。2007年, 国际著名刊物《Transportation Research, Part E》出版了一期特刊, 刊登了若干不同突发事件中应急物流管理(Emergency logistics management)的研究成果。应急物流研究突发事件应急管理中的救援物资保障问题, 包含了物资的采购、存储、调度、运输等, 涉及到应急物流系统的规划、调度、运行和评估等一系列科学问题。

先对突发事件(Emergency)做一扼要的描述。突发事件一般是指意料之外发生的具有破坏性的事件, 其中特别是一些大规模自然灾害和人为事件, 并对整个社会造成严重影响的突发事件, 在国内也称为“非常规突发事件”。例如2003年中国的“非典疫情”, 严重影响了人民正常生活和工作秩序, 造成了全社会的恐慌; 2008年初中国南方地区遭受了50年来最严重的冰雪袭击, 造成一些高速公路及机场被迫关闭, 贯穿南北的电气化铁路因断电而瘫痪, 对华电网、华东电网和南方电网造成重创; 雪灾还

给南方地区农业以及畜牧业、林业等带来了严重影响; 由于断电等因素影响, 部分工矿企业无法正常生产, 受到了严重影响; 此次灾害造成一百多人死亡, 直接经济损失1千多亿元; 2008年5·12汶川特大地震, 造成近10万人死亡或失踪, 37万多人受伤, 数百万人失去家园, 经济损失难以估量; 1999年9月21日台湾省花莲发生7.6级地震, 这是台湾近百年来发生的最强烈的地震; 1999年土耳其发生里氏7.4级的Marmara(马尔马拉)地震; 2001年美国“9·11”恐怖袭击事件造成2752人死亡或失踪, 经济损失达数千亿美元, 恐怖主义的阴影笼罩全球; 2004年发生在印度洋的巨大海啸, 侵袭了包括印度尼西亚、斯里兰卡、印度、泰国等亚洲非洲共12个国家, 致使20多万人丧生, 5万人失踪, 超过50万人流离失所。以上是大规模的突发事件。常规的突发事件的数量就比较多了。

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》, 之后全国应急预案体系基本形成。《总体应急预案》中提出, 突发公共事件是“突然发生, 造成或者可能造成严重社会危害, 需要采取应急处置措施予以应对的自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件”。在我国, 突

* 收稿日期 2011-07-25 网络出版时间 2011-09-17 13:59:00

资助项目 国家自然科学基金项目(No. 10871144 ; No. 90924008)

作者简介 韩继业, 男, 研究员, 博士生导师, 研究方向为非线性优化及相关领域。

网络出版地址 http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20110917.1359.201105.1_001.html

发公共事件主要被分为以下4类。

1)自然灾害。主要包括水旱灾害、气象灾害、地震灾害、地质灾害、海洋灾害、生物灾害和森林草原火灾。

2)事故灾难。主要包括工矿商贸等企业的各类安全事故、交通运输事故、公共设施和设备事故、环境污染和生态破坏事件。

3)公共卫生事件。主要包括传染病疫情、群体性不明原因疾病、食品安全和职业危害、动物疫情以及其他严重影响公众健康和生命安全的事件。

4)社会安全事件。主要包括恐怖袭击事件、经济安全事件、涉外突发事件等。

我国根据社会危害程度、影响范围等因素,把突发事件分为4级:特别重大、重大、较大和一般突发事件。根据突发事件发生发展的一般规律,可以把突发事件的应急管理划分为4个阶段,也成为突发事件应急管理的生命周期。

1) 防灾减灾(Mitigation):防范灾害事件的发生,采取预防措施减轻灾害的影响。突发事件的风险评估与风险管理,防灾减灾教育宣传,预报预警措施等。

2) 备灾(Preparedness):制定突发事件的应急预案,建立应急物资储备体系,培训救援力量,建立志愿者队伍,开展应急演练等。

3) 积极应对(Response):快速启动灾害应急响应,救援与灾民安置,基础设施恢复,应对次生灾害与衍生灾害,应急物资供应,卫生防疫,协调国内外人道主义援助,减少灾害损失等。

4) 恢复重建(Restoration):评估灾害损失,灾后重建规划,恢复生产生活秩序,实施灾后重建项目等。

9·11恐怖袭击事件后,各国政府、企业界、学术界对突发事件应急管理非常重视。2001年10月美国联邦政府成立了“联邦国土安全部”(The US department of homeland security)。学术界从多个角度研究应急管理有关问题。2004年美国运筹与管理科学学会(INFORMS)主席R. C. Larson教授提到:“现今我们面临着若干不同寻常的威胁,也是一种新形式的战争。运筹学提供了一种有科学根据的整体架构来考虑问题的各个方面以及评估不同决策的后果和协调。”(OR/MS Today, 2004)。美国及欧洲一些大学纷纷成立了有关的研究中心,如

tions Research Center, Center for Engineering Systems Fundamentals (R. C. Larson)

● State University of New York at Buffalo, Department of Industrial Engineering, Research Institute for Safety and Security in Transportation (R. Batta)

● University of Southern California, Epstein Department of Industrial and Systems Engineering

● Georgia Institute of Technology, School of Industrial and Systems Engineering, Center for Operations Research in Medicine and Healthcare

● University of California at Los Angeles, Center for Public Health and Disasters

● Texas A&M University, Natural Hazards Center

● University of Washington, Institute for Crisis, Disaster and Risk Management

美国国土安全部和国家科学基金会大力资助这方面的研究项目。欧盟也有这方面的研究计划。

我国各级政府和学术界对突发事件的研究工作非常重视。近年来,在一些大学和重要科研机构也成立了“应急管理研究中心”或“危机管理研究中心”,中国行政管理学会创办了《中国应急管理》杂志,一些大学和研究生院开设了应急管理相关的课程,有关应急管理和应对措施的国内外学术交流日益活跃。

2 应急物流的特点

应急物流是一个新概念,定义还不十分确切。有的文献叙述为:“应急物流是设计、运行、控制救灾物资和信息的有效流动,以及由出发点到目的点的有效服务,以满足受害民众的紧急需求。”^[1]

灾害发生之后,最重要的是迅速及时地将大量的应急物资运送到灾区配送中心,然后从配送中心运往受灾地。在应急背景下,营救关键时期(灾难后的3天内)特别重要,及时救援可以显著地挽救生命和减少损失。这一过程的物资供应不同于常规的物流活动,要着重满足应急物资调度和运输的紧迫性和高效率的要求。

在突发事件中,不仅应急物资的需求量不能确定,而且需求点的位置以及道路破坏状况也常常不确定,这是由于营救人员与受灾人联系困难,不能及时得到受灾区域信息或收到的信息比较杂乱等原因造成的。因此,应急物流的组织和实施需要根据灾情的发生、对应急物资的动态需求、以及运输条件和

● Massachusetts Institute of Technology, Opera-

道路信息的不断更新及时动态地做出调整。

应急物流的另一个特点是弱经济性。应急物流多从人道主义救援的需要出发,以满足灾区群众的实际需求为主要目标,而成本的节约或收益的提高不是作为主要因素来考虑。应急物流系统所追求的目标是要在满足灾民需求与成本之间做出适当的平衡。

概言之,应急物流具有突发性、紧迫性、弱经济性、信息不确定、物资需求量大等特点。应急物流管理要求人们利用科学的方法和手段,制定系统的合理的应对预案,并在突发事件发生后,在预案的基础上随时根据事态发展的信息,利用科学的方法和手段,动态地快速地高效率地调整应对方案,做出正确的决策,这将能显著地提高有限资源在挽救生命和减少损失方面的效果。应急物流的这些特点和要求应反映在所建立的运筹学模型和算法中。

3 应急资源选址和配置问题的模型与方法

应急资源的合理布局和资源的快速调度是应急物流的两个重要问题。应急资源布局问题包括了应急资源(包括应急设施)的选址和配置(Location and allocation)两部分,所解决的问题是应急资源的储存位置应选在何处,在每一个储存位置上应配置多少资源,使有限的应急资源在救援中能够发挥最大的效用而且节约成本。降低成本,保证应急救援的时效性,最大可能地减少人员伤亡和财产损失,是应急资源合理布局应考虑。

早期的应急设施选址问题多针对常规突发事件,例如火灾、交通事故、病人救助等^[2-6],其选址模型主要包括3类典型模型:覆盖模型、 p -center模型、 p -median模型。覆盖模型是在保证覆盖所有需求点的条件下使设施的数目尽可能小,或者使事先给定数目的设施,能够提供的覆盖尽可能大。 p -center模型是使需求点和设施之间的最大距离尽可能小,而 p -median模型是使需求点与它们最近的设施之间的距离之和(或平均距离)尽可能最小。对于重大突发事件,应急资源的布局体系呈现分层结构,而且布局体系需要面对若干不同类型、不同级别的灾难,布局问题所涉及的因素很多,也比较复杂。经典的覆盖模型已不能适应这类布局问题。目前的研究多通过对不同类型、不同级别灾难下需求的情景分析、风险分析,来确定合理的资源布局,相应文章的数学模

型大都是整数规划、多目标规划、网络流、随机规划等。

文献[7-8]研究了重大突发事件中需求点的人数为已知,医疗设施和道路存在损坏风险的情况下医疗服务(EMS)设施选址问题,提出了推广的覆盖模型,是线性0-1规划,求解该模型的算法是遗传算法和Lagrange松弛算法等启发式算法。

文献[9]以斯里兰卡某海岸城市建立学校等公共设施为背景,研究了海啸引发的淹没风险下公共设施的选址问题。文中所提出的模型中考虑了3个优化目标,第一个目标是最小化设施准则和最大化覆盖准则的加权和最小,其中最小化设施准则是使得每个人群聚集中心到达与其最近学校的距离乘以该中心的人数的总和最小,最大化覆盖准则是使得在不超过给定行走距离的限制下所有不能到达最近学校的学生数目最小。第二个目标是使选址方案受到的海啸风险为最小,作者根据历史数据估计出在每个可选点海啸达到某一高度的概率,定义风险函数为此概率与受灾人数的乘积的总和。第三个目标是总费用为最小,包括学校基本的建造维护费用和其他费用。

文献[10]研究了如何分配可用的应急物资来尽可能减轻突发事件造成的风险。文章建立了一个非凸规划,设计了相应的分支定界的求解方法,并证明了算法可得到该非凸规划问题的全局最优解。

突发事件的情景(Scenario)分析是关于灾难的情形、程度、与其发展的一系列情况分析。文献[11]引入情景的概念以及情景发生的概率,来描述需求的不确定性,建立了随机混合0-1规划模型。在模型中,作者将灾区按灾情进行分级,灾区级别越低表示灾情越严重,物资调配允许从高级别的灾区调到低级别的灾区。在每种情景下,物资调配会产生一定费用,该优化模型的目标是使物资调配费用和储存费用最少。文章使用样本均值近似法(Sample average approximation method)来求解该随机混合0-1规划。关于应急物资的选址和配置问题的研究还可参见文献[12-17]。

4 应急资源调度问题的模型与方法

应急资源的调度(Distribution)问题的两个方面是资源的分配与运输工具的分配,一般而言,物资的配送过程可以用网络流模型刻画,作为承载物资的运输工具也可以看作是一种整数流。文献

[18]建立了多物资网络流与车辆路径问题的混合优化模型,通过将车辆视为物资的方法,将这个模型转化成混合整数多阶段多物资网络流问题。该文考虑了如下情形:车辆不一定要求回到仓库,接收物资的点可以成为新的仓库,在当前时间段内,节点需求量或者供应量为已知,且可以预测对某些物资的将来的需求量,进入下一个时间段将重新计算调度方案。优化模型的目标是总的未满足需求量最小化。对于此混合整数线性规划,论文采用 Lagrange 松弛的迭代算法,将模型转化为两个相互关联并且易于求解的子模型:一个是线性规划(物资流模型)另一个是简单的混合整数规划(车辆流模型)。

文献[19]以土耳其地震为背景,将资源需求量作为随机变量,运输系统的脆弱性导致线路运输能力和供应量的变化,也被作为随机变量,这些随机变量的一个实现被视为一种“情景”。依据灾难的阶段,将情景分为地震情景(Earthquake scenario)和随后的影响情景(Impact scenario)。基于两种情景阶段的划分,建立了带补偿的两阶段随机线性规划模型,目标是期望费用最小化,包含运输、储存,及补偿费用等。

文献[20]研究了应急物流的车辆路径问题(VRP)。文章将问题分为两个部分,第一部分是关于预案(Planning)阶段的模型,建立了概率约束规划,优化目标是最小化未满足的需求量和总运输时间,通过模型的求解可得到灾害发生前的所有车辆行驶路线。第二部分是当灾害发生后各种不确定参数已可以得到,需要对预案阶段确定的车辆路线进行实时快速调整,此时的模型应该遵循能够快速求解的原则,文章建立了按照计算复杂性而言是易解的优化模型并给出了多项式时间算法。

文献[21]提出了关于“物资分发中心”的概念,及相应的选址-调度多目标规划模型,并给出了一种基于模糊规划的多目标规划求解方法。模型中涉及到3个目标函数,分别是最小化运输成本、最小化运送时间、最大化物资需求满足程度,模型的约束考虑了物资运输过程中的时间、道路容量、物资储备量、物资需求等约束。

灾难发生后,需要把救灾物资送到受灾地区的分发中心,同时也需要把伤员从受灾点疏散到医疗救助中心。应急物资配送和伤员疏散(Evacuation)是应急物流需要考虑的两方面工作。文献[22]研究了将物资流与人员疏散相结合的问题,应急物资

的配送和车辆派遣具有如下特点:1)灾区的一个点既需要物资,同时又有伤员等待疏散;2)物资供应点也可能是医疗设施所在的点;3)需求量和供给量是随时间变化的。该文通过将车辆调度看作整数物资流,建立了一个混合整数多物资网络流优化模型,模型中考虑了在事发区域如何合理的设立暂时救助中心和避难所。

文献[23]考虑了在大规模突发事件下应急物资(例如救济药品)到需求点的派送问题。文章建立了一种车辆路线(VRP)型的优化模型,目标是最小化未满足的需求总量和延误总量,并且给出了快速的启发式算法。关于应急物资的调度问题还可参见文献[24-26]。

5 总结与展望

应急物流是近年来受到重视的一个新的研究领域,它具有与普通物流显著的不同特点。本文扼要地介绍了国外文献中采用运筹学模型和算法来研究应急物流的资源选址、配置和调度等问题的一些重要成果,这几个问题是应急物流中被较多研究的问题。由于广泛的多方面实际需求,这几个问题还需要进一步深入研究,同时应急物流的其他问题也将得到更多研究。

应急物资除各级政府有计划的储备外,社会化应急物资储备也是重要的供应方式。一些物资(如食品、饮用水、药品等)需经常更换,不宜大量储存。在设计应急物资储备系统时需要考虑不同储备方式的合理协调,并建立相应的数学模型。

应急物流中许多信息具有不确定性、不完整性、动态性,需要研究这些特性的合理的数量表述和处理方法。迄今在文献中一般是用随机变量来描述不确定的量。但用随机变量描述数量的不确定性对一些情况并不合适。文献中用不确定集合描述数量的不确定性的鲁棒(Robust)方法在应急物资派送问题的建模中已采用,模糊数也被运用。由于不同的量的特性可能有不同,可考虑对不同的不确定数量用合适的方法来描述。鲁棒优化的概念仍在改进和发展。

预备阶段的工作质量很大程度影响突发事件发生后的救援效果。将预备阶段的预案和实施阶段的调整方案紧密结合在一起,使预案在实际应用时能根据所得的实时信息做出迅速调整,这种研究非常必要。

由于突发事件的影响,选址问题中的某些设施,或者交通网络中的某些路段可能失效或部分失效(在信息网络中也有此现象)。文献中称这类问题为:可靠设施选址(Reliable facility location)问题,可生存网络(Survivable network)问题,是近年来研究的一类新问题^[27-28]。应急物流的有关问题可结合这方面的研究。

应急物流的不同问题的数学模型需研究它们相应的求解算法,特别是大规模问题的快速的近似求解算法的设计,也值得重视和深入研究。

参考文献:

- [1] Sheu J B. Challenges of emergency logistics management [J]. Transportation Research Part E 2007 43 655-659.
- [2] Toregas C ,Swain R ,ReVelle C. The location of emergency service facilities[J]. Operations Research ,1971 ,19 :1363-1373.
- [3] Hochbaum D S ,Pathria A. Locating centers in a dynamically changing network and related problem[J]. Location Science , 1998 6 243-256.
- [4] Marianov V ,ReVelle C S. Siting emergency services[C]// Drezner Z. Facility Location :a survey of applications and methods. Heidelberg Springer ,1995 :199-223.
- [5] Brotcorne L. Ambulance location and relocation model[J]. European Journal of Operational Research 2003 ,147 451-463.
- [6] Paluzzi M. Testing a heuristic p -median location allocation model for siting emergency service facilities[C]// Philadelphia Paper Presented at the Annual Meeting of Association of American Geographers 2004.
- [7] Jia H Z ,Ordóñez F ,Dessouky M. A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies[J]. IIE Transactions 2007 39(15) 41-55.
- [8] Jia H Z ,Ordóñez F ,Dessouky M. Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies[J]. Computers & Industrial Engineering 2007 52 : 257-276.
- [9] Doerner K F ,Gutjahr W J ,Nolz P C. Multi-criteria location planning for public facilities in tsunami-prone coastal areas [J]. OR Spectrum 2008 31(3) 651-678.
- [10] Sherali H D ,Desai J ,Glickman T S. Allocating emergency response resources to minimize risk with equity considerations[J]. American Journal of Mathematical and Management Sciences 2004 24(3) 367-410.
- [11] Chang M S ,Tseng Y L ,Chen J W. A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty[J]. Transportation Research E 2007 43 : 737-754.
- [12] Gong Q ,Batta R. Allocation and reallocation of ambulances to casualty clusters in a disaster relief operation [J]. IIE Transactions 2007 39(1) 27-39.
- [13] Araz C ,Selim H ,Ozkarahan I. A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services [J]. Computers & Operations Research ,2007 ,34(3) : 705-726.
- [14] Gendreau M ,Laporte G ,Semet F. Solving an ambulance location model by tabu search[J]. Location Science 1997 ,5(2) : 75-88.
- [15] Gendreau M ,Laporte G ,Semet F. A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real-time ambulance relocation[J]. Parallel Computing ,2001 ,27(12) :1641-1653.
- [16] Sydney C K ,Chu L. A modeling framework for hospital location and service allocation[J]. International Transactions in Operational Research 2000 7 539-568.
- [17] Fiedrich F ,Gehbauer F ,Rickers U. Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters [J]. Safety Science 2000 35 41-57.
- [18] Ozdamar L ,Ekinci E ,Kucukyuzici B. Emergency logistics planning in natural disasters[J]. Annals of Operations Research 2004 ,129 217-245.
- [19] Barbarosoglu G ,Arda Y. A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response[J]. Journal of the Operational Research Society , 2004 55(1) 43-53.
- [20] Shen Z H ,Dessouky M ,Ordóñez F. The stochastic vehicle routing problem for large-scale emergencies[C]. ISE Working paper 2005.
- [21] Tzeng G H ,Cheng H J ,Huang T D. Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems[J]. Transportation Research Part E :Logistics and Transportation Review , 2007 43(6) 673-686.
- [22] Wei Y ,Ozdamar L. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities [J]. European Journal of Operational Research ,2007 , 179 :1177-1193.
- [23] Liu D G ,Han J Y ,Zhu J M. Vehicle routing for medical supplies in large-scale emergencies[C]//Zhang X S , Chen L N ,Wu L Y , et al. Lecture Notes in Operations Research 7 ,Beijing :World Publishing Corporation ,2007 : 412-419.
- [24] Campbell A M ,Vandenbussche D ,Hermann W. Routing for Relief Efforts[J]. Transportation Science 2008 42(2) :127-145.
- [25] Sheu J B. An emergency logistics distribution approach for

quick response to urgent relief demand in disasters[J].
Transportation Research E 2007 43 :687-709.

[26] Wei Y. Ant colony optimization for disaster relief operations[J]. Transportation Research ,Part E 2007 43 :660-672.

[27] Cui T T , Ouyang Y F , Max Shen Z J. Reliable facility lo-

cation designed under the risk of disruption[J] ,Operations Research 2010 58(4) 998-1011.

[28] Garg M ,Smith J C. Models and algorithms for the design of survivable multicommodity flow networks with general failure scenarios[J]. Omega 2008 36 :1057-1071.

Operations Research and Cybernetics

Some Application of Operations Research in Emergency Logistics

HAN Ji-ye¹ , LIU De-gang¹ , ZHU Jian-ming²

(1. Institute of Applied Mathematics , Academy of Mathematics and System Science , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100080 ;

2. Graduate University , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China)

Abstract : This article first briefly narrated emergency and emergency logistics , and summarized the characteristics of emergency logistics , such as : abruptness , urgency , feeble economy , information uncertainly , and a large quantity demanded of goods and materials , etc. Then this article mainly introduced some applications of OR models to location and allocation problems of emergency materials in large-scale unconventional emergencies , and also recommended some optimizations models of materials distribution problems in emergency logistics. This article also put forward some important problems needed to study in future , and in the end listed international important references about emergency logistics published in recent years.

Key words : emergency logistics ; location ; allocation ; distribution ; model ; algorithm

(责任编辑 黄 颖)