

Y1528187

分类号:U46

10710-20040503



長安大學

硕士学位论文

应急物流网络规划方法研究

施晓岚

导师姓名职称	郭晓汾 教授		
申请学位级别	硕 士	学科专业名称	载运工具运用工程
论文提交日期	2007 年 5 月 12 日	论文答辩日期	2007 年 5 月 28 日
学位授予单位	长安大学		
答辩委员会主席	朝承斌 高级工程师		
学位论文评阅人	朝承斌 胡大伟		

摘 要

本文从系统的观点出发,提出了依托应急物流网络来保障应急物流顺利开展的新思路,按照应急物流特性和规划任务,首次明确地划分了静态网络与动态网络,从平时和灾时两方面入手实现应急物资保障、降低应急成本。

针对应急物流高时效性、全面覆盖率的要求,划分“应急物流小区”,建立了适应不同现实情况的配送站点选择模型和基于 p -中值的枢纽定位模型,创新地构建了带有枢纽的“轴辐式”静态网络,其结构符合“统一领导,分级负责”的政府物流行为,满足了突发性公共事件物资需求量大、供应持续性的要求。

引入了基于事例推理的“即时需求估测模型”,为救援物资的需求决策提供辅助。依据分阶段、分层次、带枢纽、带归属的思路构建了分工明确的动态网络,并提出了根据突发公共事件的势态发展确定的三阶段启动模式,解决了救援迅速及时与物资广泛筹集、持续供应这个两难问题,创新了应急物资调度组织方法。最后,构造了带最后限期的多品种物资救援路径决策模型,并设计了基本遗传算法对模型进行了求解,较好地拟合了应急物流实际。

关键词: 应急物流; 网络规划; 选址; 运输调度; 遗传算法

Abstract

By the viewpoint of systems analysis, the new thought that the progress of emergency logistics relies on its special network is developed. In this study, the network is partitioned to static and dynamic part definitely according to the logistics characters and the planning task in emergency situation for the first time. Thus the commodities dispatching and the cost depressing would be actualized from peacetime to disaster time.

Because of the strict request of time limit and covering space, the hub-and-spoke static network was set up newly. First, the area for emergency logistics planning is divided into several zones. On the basis of this, two different models for selecting terminal node are given. Then the hub location model which is similar to p -median and facility location model is described here. As the framework of this network is fitted for the government logistics mode which emphasizes on “unified leading and graded to implement”, the great and continual supply due to paroxysmal occurrence could be satisfied.

The “instant demand estimate model” based upon Case Based Reasoning is introduced in emergency logistics context, assistant for decision-making. The dynamic network is clearly compartmentalized and constructed by the idea of grading, step by step, with hub and with ascription. Furthermore, the tripartite start-up mode is described according as the develop tendency of paroxysmal occurrence. In emergency situation, aid-delivery has speedy requirement, while a great deal of material for salvation should be widely raised, it becomes in a dilemma. But the new manoeuvre method well solves this problem. At last, multi-commodity dispatch model for vehicle routing problem with time deadline is formulated. Genetic Algorithms is chose here to be the solution approach. All of this simulates the actual condition of emergency logistics.

Key words: emergency logistics; network planning; location; vehicle routing; Genetic Algorithms

论文独创性声明

本人声明：本人所呈交的学位论文是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表的成果。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：施成芳

2007年6月1日

论文知识产权权属声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属学校。学校享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为长安大学。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

论文作者签名：施成芳

2007年6月1日

导师签名：郭晓芳

2007年6月1日

第一章 绪论

1.1 应急物流

1.1.1 应急物流概念

1.1.1.1 概念的提出^[1,2,3,5]

当今世界科技发展日新月异，对自然灾害的预报已发展到相当水平，但局部的、区域性的、地区性的甚至是国家或全球范围的自然灾害、公共卫生突发性事件时有发生，给人类造成重大甚至是毁灭性的打击，对人类的生存和社会的发展构成了严重的威胁。现实生活中，无论是 SARS、禽流感这样的公共卫生事件，还是如洪涝、海啸等重大自然灾害，都会造成具体的人员伤亡和财产损失，需要大量的物资来救急救灾，以解决或处理死者安葬、伤者救助、卫生防疫、灾后重建、恢复生产、恢复秩序等问题，而应急物资的运送迫切需要社会物流系统发挥其应急功能。

应急物流，就是为了满足突发公共事件需求，组织救急物资从各地向需求地（灾区）的实体流动过程，根据救急需要，将运输、存储、装卸、搬运、包装、流通加工、配送、信息处理等基本物流功能实现有机的结合。突发公共事件是指突然发生，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，危及公共安全的紧急事件。根据发生过程、性质和机理，突发公共事件主要包括自然灾害、事故灾难、公共卫生事件、社会安全事件四类。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，一般分为四级：Ⅰ级（特别重大）、Ⅱ级（重大）、Ⅲ级（较大）和Ⅳ级（一般）。应急物流是在这些突发事件中对物资、人员、资金的需求进行紧急保障的一种特殊物流活动。

1.1.1.2 应急物流流程

在公共事件突发的冲击下，应急物流的流程如图 1.1 所示。

1.1.1.3 应急物流的性质

应急物流属于社会物流范畴。社会物流系统通过对多种资源的整合，形成服务于一个城市、一个区域、一个国家的社会基础服务体系，以提升全社会物流服务水平，降低物流成本。物流本身并不是一个工商企业才需要的概念，其不仅仅是企业连接市场、进行市场整合、节约成本和提高效率的手段，还应具备社会价值。物流的社会价值除了体现在人们通过物流获得各种各样的商品、以更低的价格获得商品和服务，还体现在满足整个社会的需要^[6]，包括应急需要。

应急物流的目标是为了追求时间效益最大化，使得灾害损失最小化，在满足这两者的前提下实现物流成本最小化（经济利益最大化），要求效率第一、效益第二。因此，应急物流为社会利益所牵引，其系统的构筑需要政府从全局的角度进行调控，构建专门的物流平台、依靠政策法规，组织物资的储、运、配等活动，实施救助。为了保证应急保障工作的顺利完成，运作必须依靠强有力的政府职权，同时要求全社会即时地广泛参与。应急服务对象不是普遍意义上的消费者，是突发事件点及影响辐射区域的特定人群。

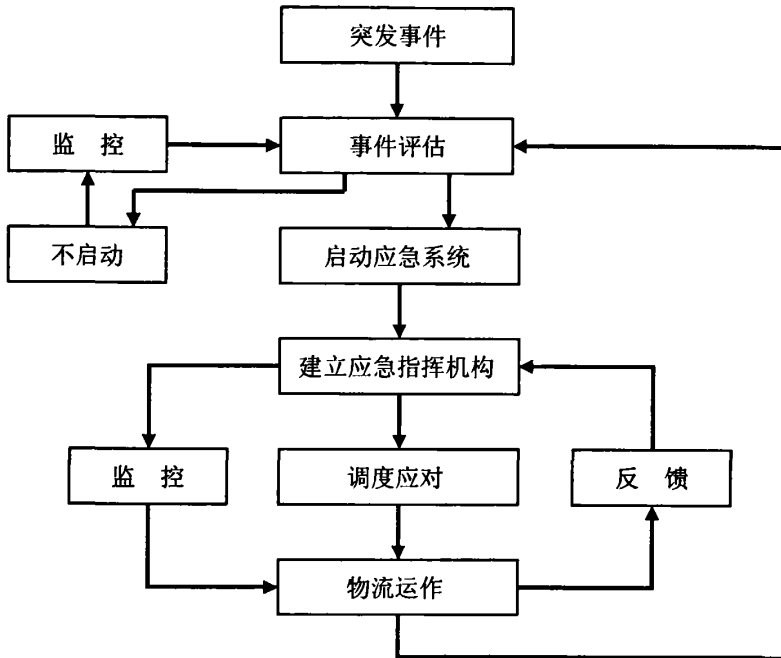


图 1.1 突发事件冲击下的应急物流流程

注：资料来源于 Logistics & Material Planning 焦点报道（2003.6）

1.1.2 应急物流特性

应急物流具备了物流的运输、存储、装卸、搬运、包装、配送、流通加工和物流信息处理等基本功能。但它是一类特殊形态的物流，通过其与普通物流六大要素的对比可见一斑（见表 1.1）。

除此之外，应急物流的特殊主要体现在其五大特性^{[8][9]}上：

(1) 突发性

应急物流是由突发事件引起的，其最明显的特征就是突然性和不可预知性，这也是应急物流与一般物流的显著区别。由于应急物流的时效性要求非常高，必须在最短的时

间内，以最快捷的流程和最安全的方式来进行应急物流保障，平时的那套物流运行机制已经不能满足应急情况下的物流需要，必须要有一套应急的物流机制来组织和实现物流活动。

表 1.1 应急物流与普通物流六要素特性对比

要素	普通物流	应急物流
流体	一般性的物品，物品种类不限；来源固定（确定的一个或几个供应厂商）	主要为救灾物资，包括三类：第一类为救生衣、橡皮艇之类的救生用品，第二类为衣被、食物等生活必需品，第三类为医疗器械及药品等救伤品；来源复杂，包括政府提供、社会捐助、企业个人自行筹划等
载体	固定的设施与场所	固定的、机动的设施与场所共用
流向	按用户需求，流向确定	流向突发事件影响区域，目标具有不确定性和不可预知性
流速	运行完成耗时稳定	高速运行，按实际情况需要有时间上的延长和缩短
流量	物流数量稳定	通常巨大且有激增倾向
流程	可按合理化原则进行安排	受环境因素影响，随时可能变化

注：部分资料来源于《中国西部科技》（2004.10）

(2) 不确定性

应急物流的不确定性源于突发事件的不确定性，人们无法准确地估计突发事件的持续时间、强度大小、影响范围等各种因素，使应急物流的内容随之变得不确定。应急物流的供给不可能像一般的企业内部物流或供应链物流，根据客户的订单或需求提供产品或服务。例如在 2003 年上半年对 SARS 的战斗开始阶段，人们对防护和医疗用品的种类、规格和数量都无法有一个确定的把握，只能随着对疫情的不断加深了解来做出相应地判断。在应急物流活动中，意料之外的变数可能会导致额外的物流需求，甚至使应急物流的主要任务和目标发生重大变化。如在抗洪应急物流行动中，可能会爆发大范围的疫情，使应急物流的内容发生根本性变化，由最初的对麻袋、救生器材、衣物、食物等救生物资需求，变成对医疗药品等救伤物资的需求。

(3) 弱经济性（强时效性）

应急物流的最大特点就是一个“急”字，如果运用平时的物流理念，按部就班地进行就会无法满足应对紧急的要求。在一些重大险情或事故中，普通商业物流的经济效益原则将不再作为一个物流活动的中心目标加以考虑。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，

在某些情况下，甚至会变为一种纯消费性的行为，因此应急物流目标具有明显的弱经济性。

(4) 非常规性

应急物流本着特事特办的原则，许多平时物流过程的中间环节将被省略，整个物流流程将表现得更加紧凑，物流机构更加精干，物流行为表现出很浓的非常规色彩。在救灾应急的大前提下，必然要有一个组织精干、权责集中的机构进行统一组织指挥物流行动，以确保物流活动的协调一致和准确及时。在应急物流的组织指挥中，也带有明显的行政性或强制性色彩。如在 1998 年的抗洪抢险战斗中，庐山站作为九江地区抗洪最前沿的卸载站，承担了 324 个列车的卸载任务，列车卸载最短时间仅为 20 分钟，超过该站卸载能力的一倍^[4]。这种能力不是常规作业能达到的。

(5) 全面参与性（社会公益性）

应急物流系统必须在极短的时间内调集所需的应急物资，同时在极短的时间内进行快速地运送。与普通的商业物流不同，应急物流不是单个或几个物流企业范畴的问题，需要有特殊的组织机构、专业的协调指挥人员、专门的应急物流基础设施、快速安全的输送通道、丰富无限的集货能力，依靠地方干部、民兵、赈灾部队、公安、志愿者、防疫人员、医务人员等多方力量，才能保障救急救灾效果。整个物流系统的应急能力，与社会的参与面、参与程度密切相关。例如地震、“非典”事件等，其所需物资的数量和种类往往是惊人的，由于灾民紧急转移时来不及带上生活必需品，这么多人的吃、住、用都是一个巨大的数字，其所涉及的应急物资种类繁多，有医药、医疗器械、食品、被装、帐篷、燃料、饮用水、交通工具等。这么多的物资种类，我们不可能指望哪一个物流中心能全部保障，这需要众多的物流中心、物流企业在政府特别机构的组织下来共同参与完成。

1.1.3 应急物流与军事物流的异同

广义的应急物流包括军事应急物流和非军事应急物流，军事物流是指专门用于满足军队平时与战时需要的物流活动。一般意义上的应急物流是针对非军事而言的，本文研究的也是狭义上的应急物流。

应急物流与军事物流有许多类似的特性。首先，两者都属于保障性质的物流，前者是社会利益保障，后者是战时的后勤保障，都应建立专门的不同于普通物流的物流平台和服务体系，在平时编制物流预案、进行适度演习，提高处置能力，保障公众的生命财

产安全,维护国家安全和社会稳定。其次,两者都是动态的物流系统^[10],在非常时刻(战时与灾害时),随着战争和灾情的变化,物流需求、供应渠道等都会发生相应的变化,系统运行随时随地受到交通线路、出救站点、运力条件等因素的制约。它们都必须具备一定的适应环境变化的能力,要有足够的可变性与灵活性。再次,对于应急物流和军事物流,都有“时间就是生命”、“机不可失、失不再来”的特征,时效要求非常高^[12]。救灾和战斗的快节奏要求整个物流系统能在短时间内高效、快速、有序运行。另外,两者在运行时所需要的物资种类、一定时间内物资需求量的膨胀是其他物流所无法比拟的。因此,采用物流实时监控、保持与服务对象之间的信息沟通是十分必要的。

但应急物流与军事物流之间也存在着显著的差别:

(1) 决策目标不同,运行环境有很大差别^[10]。两者的根本目标是不同的:军事物流是战时的后勤保障,是为战斗服务的,以保证战斗的持续、赢得军事胜利为目标,其运行环境封闭、着重考虑安全性因素;而应急物流着眼于社会利益,保障生命财产安全是根本任务,物流的运行更要求快速反应、全面覆盖,系统具有连续性、开放性。

(2) 物流规划方法存在很大差异。对于军事物流而言,在战斗和战役打响前后勤保障物资已有充足的战术、战役储备,而且其通常有一套完善周密的物流系统和物流计划^[2],但应急物流规划存在更大的未知性和活动广度。尽管某些自然灾害可以预报它发生的地域、强度及季节或时间等(如洪水、台风),但因预报时间和发生时间相隔太短,赈灾的应急物资难以实现其时间效应和空间效应,即难以实现其物流过程^[2]。而更多的突发性自然灾害、公共卫生事件,如地震、火山爆发、山洪、泥石流、大面积食物中毒、矿井安全事故、突发性传染病等都难以预测和预报,通常没有任何征兆,所以在制定应急物流规划要考虑更广泛的影响因素,编制预案的难度较之高出许多。

(3) 物流活动参与面不同。军事物流因为战争的要求,物流任务通常具有保密性质,因而物流活动主体单一,必然也必须是军队后勤部门。而应急物流的救急救灾性质决定了其整体过程的全民动员机制^[2],它以民众的需求为基础,以社会参与为原则,以自我完善为手段,弘扬人道主义精神。应急物流中完全可能通过传媒通信等技术手段告知民众受灾时间、地点,灾害种类、范围以及赈灾的困难与进展、民众参与赈灾的方式及途径等,从而达到以下目的:调动民众的主观能动性,为赈灾献计献策;以有偿或无偿方式筹集应急物资或用于采购应急物资的应急款项;为实现快速应急物流提供各种方便;为赈灾提供必要的人力资源^[2]。

(4) 物资需求构成及供应链存在一定差异。军事物资是一种特殊的物资,包括装备

物资、军需物资、油料、药品等，属部队专用物资，有特定的制造工厂，不进入市场进行流通^[1]。其生产、筹措和供应渠道是相对固定的，有条件良好的储存设施，管理要求严格^[1]。而应急物资需求范围广，在平时一般都是正常流通的普通商品，其种类丰富，不可能有完备的一一对应的储存手段和设备，更不可能监管整个供应网络。应急物流系统只能在应急期间对于供应链进行组织调控。

应急物流与军事物流既相互区别，又相互联系，既有共同点，又各具特色。中国在应急机制的建立、应急物资保障、紧急状态法律法规的制定等方面存在诸多不足，借鉴军事物流的成熟经验，正确认识两者的共同点和联系，可以更全面更有效地建设应急物流；同时，又必须正视两者的区别和不同，避免盲目地将军事物流的做法引入应急物流。否则，不但不能有效地提高应急物流的水平和质量，还可能出现某些问题。

1.2 应急物流系统研究动态

1.2.1 应急物流系统研究内容

应急物流是一个复杂的社会系统，它的涉及面广、内容复杂，其结构如图 1.2 所示。

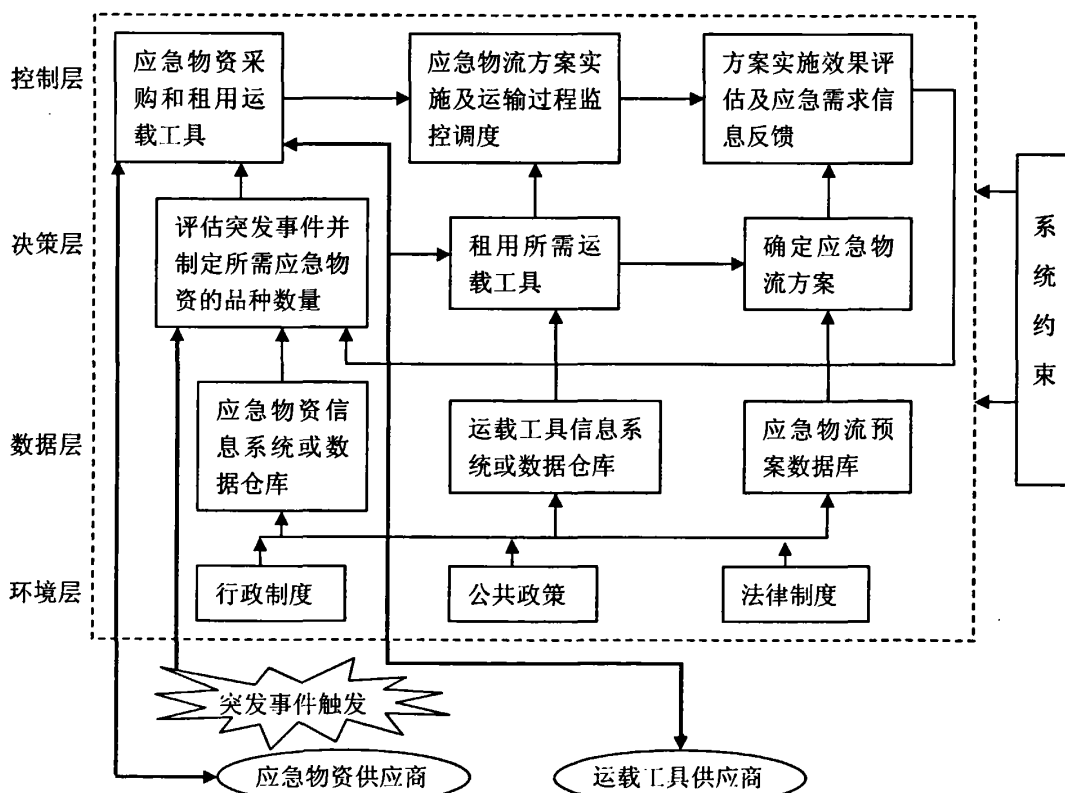


图 1.2 应急物流系统结构

注：资料来源于《中国软科学》（2005.6）

主要的研究包括以下几个方面:

(1) 突发事件预警、评估系统^[7]

应急物流应有专门的部门负责对所发生的各类重大事件进行分析评估,监测、收集各类重大突发事件的信息与知识,形成应对各种危机的预案。一旦发生可能对物流系统产生冲击的重大事件,在影响还没有出现前,就及时发出预警,并提供可行的应对预案。在事件发生过后,为此次事件对物流系统的影响及应急系统的运作效率进行评估,发现问题、总结经验,补充评估系统的知识库,为危机处理系统积累知识和经验。

(2) 应急物流的组织指挥体系结构^[7]

设置应急物流系统的组织结构,规定各组成部分的职能,根据预警评估系统的建议,选择预案、制定应对措施,并统筹整个突发事件的物流活动,使应急物流高效有序。

(3) 应急物流的保障机制

即如何从机制上保障应急物流的流体充裕、载体畅通、流向正确、流量合理、流程简洁、流速快捷,使应急物资能快速、及时、准确地到达应急地点。

(4) 应急物流实时信息系统^[4,7]

通过应急物流管理信息系统的构建,使得应急物流的各个环节能够实现高效、快速、低成本低地运行。建立监控与反馈体系,确保在物流应急运作时的信息反馈渠道畅通,确保应急组织指挥系统对物流运作的具体情况与变化的及时掌控,加强一线的监测控制,确保指挥系统高效运作。

(5) 应急物流中心的设置构建

在一个区域内(市、省、片区、国家)物理上确定一些点作为储运场、配送站、出救点等,当事故发生时,通过这些应急物流中心聚集、组织、分配、调运各物资参与救急。在应急物流中,这些站点的选择应该首先考虑能够覆盖整个区域,实现救急的全面性。应急物流中心是应急物流实际运行时的重要基础设施,它的选址、形成的网络结构、物流规模等直接决定着应急物资的输送能力,是应急物流系统中关键的一环。

(6) 应急物资的筹措、储存及管理^[4]

事先确定每个应急物流中心应配置的资源数量及更新问题,研究在应急进行时的物品、资金的筹集手段、渠道。在平时要做好对物资的储备和管理,其作用如同商业物流供应链中的采购、仓储环节。

(7) 应急物资的调度运作

物资的紧急调度包括运输和配送。在事故发生时,作出出救运输配送计划、确定出

救站点（包括确定主站点、辅助站点、后援站点等）及相应的应急物资数量、确定运输工具及其数量规模、安排物资调运路线、分配救助顺序。应急物资调度运作属于应急物流实务，是具体开展救急活动的过程，调度方法的研究对于非常时刻的操作具有重大的指导意义。

(8) 应急物流技术的研发^[4]

研究应急物流活动中的各项内容的具体实现技术，实现应急救助实际功能，构建物流技术平台。

1.2.2 国内外发展状况^[4,13]

在应急物流概念提出之前，国外学者已对与应急物流相关的军事物流、企业突发性物流、重大赛事演出物流进行了研究。S. M. Hong - Minh 等（2000 年）运用仿真的方法研究了供应链中的突发性物流。Philip T. Evers（1999 年）对突发物流(emergency transshipments) 与订单分割(ordersp litting)对物流总成本的影响进行了比较研究。Yakeo Yamada 把应急问题转变为对网络最短路的求解^[15]。2004 年，Linnet Ozdamar, Ediz Ekinici, Beste Kucukyazici 在前人研究的基础上针对发生自然灾害的应急物流规划，构造了有时间约束的动态应急调度模型^[14]，具有应急的实际意义。

在国内，2003 年 SARS 突发以及随后发生的禽流感引发了学术界对应急物流这一前沿问题的讨论。欧忠文等（2004 年）提出了应急物流的概念、应急物流中的政府协调机制、全民动员机制、法律机制和绿色通道机制，以及应急处理技术平台构建的设想^[2]。高东椰、刘新华（2003 年）提出了应急物流的突发性、不确定性、弱经济性和非常规性特点^[15]。邓伟、王卫国（2003 年）提出了建立和完善各类信息系统和数据库^[17]。刘春林、何建敏等则针对实际的操作提出以“应急开始时间最早”为目标的数学模型及相应解法，进一步讨论了“时间最短”和“应急出救点数目最少”的多目标问题及相应算法^[18,19]。还有一些学者提出了与应急物流相适应的信息保障、交通保障和法规保障建议等。

虽然现阶段已经初步确定了应急物流学科研究范围及解决问题的设想，但大多数学者的大量研究还只是停留在对于应急物流的认识构想、方向性的意见与看法、紧迫性与必要性的探讨这些表在层面，对于整个应急物流体系的框架结构，没有形成如何构建的实际运用理论，更缺乏建设规划研究的方法。

本文从系统工程的角度出发，对整个应急物流活动的运行网络规划方法进行了研究，希望借此促进应急物流快速有效的开展。

1.3 应急物流网络研究的意义及主要内容

1.3.1 研究的必要性

1.3.1.1 我国应急物流规划存在的问题

首先,我国现行的应急物流保障机制具有以行政命令为主要手段、不计物流运作成本和代价高昂的特点。公共事件一旦突然发生,各级政府以危机的及时处理作为压倒一切的中心工作。虽然在一定程度上确保了所需应急物资迅速到位,但全民齐上阵,整体秩序紊乱,应急物流社会成本高、效率低、遗留问题多,且严重影响了政府其他工作正常的开展。以经济学的观点看,现行的应急物流保障机制处于典型的“帕累托无效率”状态,需要进行资源的重新配置,组织合理的物流网络,向实现“帕累托最优”的方向努力^[8]。

其次,应急物流配送指标体系不健全,配送方式欠灵活、运载工具不先进、交通网络欠发达,交通运输存在较大问题^[20]。一旦出现突发公共事件,组织应急物流交通运输保障成本高昂、效率低下。

再者,由于应急物流机构的相互独立分隔、指挥体系不完善,应急物流的联系渠道不畅、多头指挥、各自为战、责任不明,缺乏网络结构的统一性、协调性和互补性,应急覆盖率低下,信息不全面、不畅通,难以满足应对紧急状态的要求,严重制约了应急物流的效率和效果。

1.3.1.2 应急物流网络规划的意义

应急物流网络是为了进行应急物流而组织构建的,合理地对其进行规划,使应急物流网络结构及其运行更符合应急特性,在开展应急物资保障工作时凸显优势。一个良好的应急物流网络能使应急物流事半功倍:

(1) 专业性更强^[22,23]。应急物流网络就是为了救灾而建立,在建立之初就已充分考虑了灾时物资保障工作的特性,规划了应急区域和救援线路,并使物流中心的组织结构、运作流程、信息系统等硬件、软件资源与之配套,从而保证遇到任何灾害都能有条不紊开展工作。

(2) 保障能力更强^[22]。与众多的商业物流中心、物流企业建立密切联系,将其纳入强大的网络系统中,了解各种物资的分布情况和获取途径,通过其加盟的物流中心和物流企业能够在全国、全球范围内紧急采购、调拨应急物资,保障灾区的各种需要。

(3) 救援效率更高。应急物流网络节点是一个常设机构,具有灾情预测功能,常备

各种应急方案，启动时间短。同时，在规划网络时使直接救援覆盖率达到 100%，不会有物资保障工作的滞后性。

(4) 有利于减轻政府工作负担。应急物流网络的建设工作在平时而非灾时，一个结构完整、功能完善的应急物流网络完全能够独立完成应急物资保障工作，政府只需进行宏观调度、指挥即可，从而大大减轻了政府部门救灾时期的工作压力。

因此，进行物流网络规划，构建有序的应急物流网络，等于为应急物流开启了绿色通道，在应对突发公共事件时，可以有条不紊、迅速持续地开展保障工作，对于提高应急物流的效率具有重大意义。

1.3.2 本文主要内容

本文研究的应急物流主要是针对自然灾害和公共卫生事件而言的，如洪水、地震等自然灾害以及“非典”、禽流感等公共卫生事件，按照“以人为本”的思想，主要保障相应物资和基本生活用品、医疗卫生用品的供应，以维护人民的“生命”安全为物流目标。重点从以下几个方面展开研究：

(1) 根据应急物流特性，确定应急物流网络规划的性质、目标以及具体任务；

(2) 设计和布置基于满足 100%覆盖率、实现快速响应理念的特殊网络结构，构建具有层次的应急物流静态网络；

(3) 确定轴辐式应急物流网络中节点间关系，建立选择模型并设计定性和定量结合的算法；

(4) 根据事件突发性质引入应急需求即时估测方法，设计持续应急物资调度组织方式，构建高效的应急物流动态网络；

(5) 建立带时效要求的多种物资混合配送的路径决策模型，利用基本遗传算法求解最优方案，在保证供给的前提下降低应急物流成本。

1.3.3 研究方法

根据应急物流的特性，本文采用的宏观研究方法概括有：

第一，系统分析的方法。在进行应急物流网络规划方法研究时，将应急物流的运作看成是一个综合网络系统，在了解掌握了大量应急物流现有理论与方法研究成果的基础上，对其内涵、特征、体系结构进行了全面的分析和研究，坚持系统的观点和综合的观点，从应急物流活动流程全局角度考虑规划问题，抽象出网络规划的机理和关键要素。

第二，定性分析与定量分析相结合。突发公共事件的不确定性决定了应急物流不可

能实现完全定量分析，但单纯的定性分析客观性和准确性比较薄弱，又给现实操作带来了难度。因此，在网络构建过程中广泛运用了定性和定量结合分析的方法。

第三，分类对比的方法。通过横向或纵向的比较来探讨事物之间的相似或差异，将研究涉及的具体问题分类，作区别对待处理，通常更符合实际情况。如将整个应急物流网络分为静态网络和动态网络进行分类研究、在出救点选择的过程中针对辖区内有无可用站点建立不同的选择模型等。

1.4 本章小结

本章首先介绍了应急物流的概念、流程及性质，阐述了应急物流的特点并将之与军事物流进行对比分析，进一步明确了应急物流的特性；其次，探讨了应急物流系统需要解决的问题以及目前国内外学术界在该领域的研究动态和成果；针对现有研究的不足和存在的问题，指出了进行应急物流网络规划的必要性和重大意义；最后，介绍了本文研究的主要方面和使用的三种宏观方法。

第二章 应急物流网络规划

2.1 应急物流网络

应急物流的主题是物资的筹措、采购、运输、储备、配送和分发。以往的事实证明，在灾时由政府临时组建一个救灾物资协调机构的做法已经暴露出许多问题，必然要用一种更好的物资保障方法来取代它。因此，本文提出建立一个专门的应急物流网络进行物资救援活动，达到物资保障全面、快速、低成本、有序、专业的综合目标。

2.1.1 应急物流网络的组成

按照《物流术语》中的定义，物流网络是指物流过程中相互联系的组织 and 设施的集合。这是一个概括性的定义，没有把物流网络的内涵进行深入解释。国内外的相关学术论著又从不同的侧面对物流网络的内涵进行了补充。如同济大学的朱道立教授在《物流和供应链管理》中将物流网络定义为：产品从供应地向销售地移动的流通渠道，从微观的角度对物流网络的概念进行了分析；王之泰教授在《现代物流管理》一书中提出：线路和结点相互关系、相互配置以及其结构、组成、联系方式不同，形成了不同的物流网络，主要是从实体的线路和结点这两个基本因素来解释物流网络的内涵；清华大学缪立新教授提出：物流网络是指实现物流系统各项功能要素之间所形成的网络，这是从网络角度对现代物流定义的进一步阐述^[25]。

综上所述，并结合应急物流发生的机理及需要完成任务，归纳出应急物流网络的概念：应急物流网络就是为了实现突发性公共事件的应急物资保障而构建的相互联系的物流节点、线路及设施组织的集合。从中可以看出，应急物流网络中的节点和线路是网络构成的两大基本元素，物流网络辐射能力的大小、功能的强弱、结构的合理与否直接取决于这两个基本元素的配置，其他的设施组织都是这两者的衍生和补充。

在应急物流网络中，这两个要素主要分解为下列项目（各项目内在联系如图 2.1）：

(1) 受灾点或避难点。其与普通商业物流中的顾客相对应，在应急物流中是公共事件突发后的物资需求点。有些事件发生后，货物直接送达受灾地点，有些事件发生后人群会立即转移至附近的安全地带，因此物资需求也相应地由受灾点转移至避难点。

(2) 出救配送站点。其指具有一定保管能力的配送中心，有一定的数量，并且按照规划分布覆盖整个应急规划区域，每个站点负责特定区域。如果发生公共事件，其直接担负出救物资的送达任务。

(3) 应急物流中心。即具有较强集散能力且仓储、信息管理功能强大的综合物流中心，通常按照应急规划区域本身的大小确定数量及位置。在应急物流中，其负责应急物资的总体筹划、组织、调度、分配等，是出救配送站点的后援仓库。

(4) 物资供应者。其对应于商业物流的工厂或供应商，是货物的提供者。应急物流网络中的物资供应具有种类多、货量大、需求急、持续性强等特点，因此没有固定的一个或几个供应者，物资供应具有社会性，其根据事件的性质和影响，可能会遍布整个规划区域。

(5) 集货运输路径。即物资从供应者到应急物流中心流动的路径。由于物资供应源的社会性，集货运输的路径会变得十分复杂，因此在规划中必须合理构造运输路线结构和层次，做好救援运输路径计划，选择可靠的物流通道，这样才能做到筹集物资、输送物资的有条不紊。

(6) 救援配送路径。即由出救点到各个受灾点的线路，实现应急物资从配送中心向受灾地的各个具体位点的流动，在这个过程中根据多项准则（时效、经济、安全）安排配送路线。

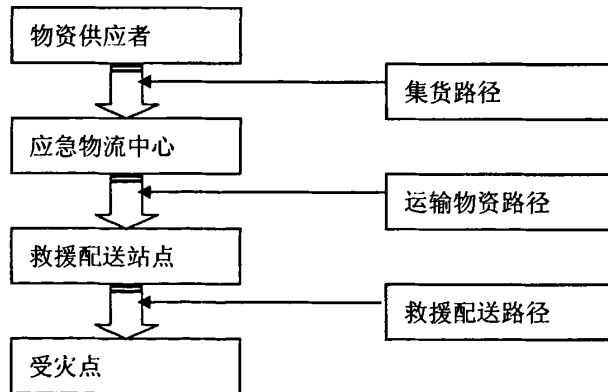


图 2.1 应急物流网络要素

由于进行物流作业的组织、设施、线路的数量、规模以及地理关系等都直接影响着应急物资救援服务的能力和成本，因此，一个结构合理的物流网络对物流系统的效率和效益的影响显得十分重要。

2.1.2 应急物流网络的特性

应急物流网络具备一般物流网络服务性、开放性、规模效应等特征，而为了妥善解决突发公共事件的物资保障问题，还具有运作逆向、结构复杂、高度参与、信息先导等特性。

(1) 运作逆向性。应急物流网络的运作方式在一定程度上与逆向物流类似，物资由各处向一个固定点流动。与商业物流放射状的结构相反，网络运作方向呈现出集聚归一形态，如图 2.2 所示。

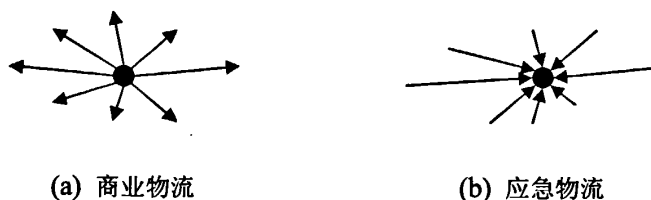


图 2.2 网络流向示意图

(2) 结构复杂性。应急物流网络要达到的救援目标决定了其结构的复杂性。救援迅速、保障全面的要求使得网络节点必须达到一定数量；活动有序、持续不断又要求网络有一定的纵向深度，降低成本的目标又增加路径选择的难度。为此，本文在做了物流小区划分的基础上创建了分层次的、带归属管理的轴辐式应急物流网络结构（详见第三章）。

(3) 高度参与性。商业物流需求量在较长时期里呈线性增长，应急物资却往往是在短时间内的爆炸性需求，有可能还会持续激增。因此，应急物流网络各要素的活动性、参与率很高，物流中的社会援助是很普遍的、也是必要的，无形中都充当着物资供应者这个网络外围元素的角色。

(4) 信息先导性。信息流在应急物流网络运作过程中起引导和整合作用，对于应急物资的有序组织调度起着至关重要的作用，通过物流信息网络的构建，实现节点之间的信息传达和沟通，从而保证实体之间的有序联系。

2.2 应急物流网络规划

目前应急物流界所研究的内容基本分为两类：一是从概念的角度介绍应急物流特点，描述问题、阐述观点，包括应急物流对策研究及“初探”、“浅论”之类；二是从模型角度针对特定问题创建特殊方法，如各种思路简单、算法复杂的模型研究等。这两类研究都存在着一一定的缺陷：首先，两者进行研究的出发点都是怎样来应付突发公共事件，就“应对”来谈“应对”，没有从整个应急机制的高度上形成从根本上解决问题的统筹方案；没有形成“预”的思路；其次，研究的系统性不强，从各自的角度去解决问题的某个方面，而非系统全局利益的最大化；第三，因为突发公共事件的“急”，在研究过程中也只追求“快”，完全放弃经济效益。这种思路往往忽略了物流本身的规律特

性,在浪费大量资源的同时并没有使效率得到很大提高,这一点正是现实的应急物流中凸现出来的最大问题。本文将整个应急物流系统运作纳入到网络规划中来研究以期解决上述问题。

2.2.1 规划目标

物流网络规划是构造物流系统的基础,直接影响整个物流系统的运行质量,在整个物流系统规划中处于战略计划的位置。应急物流网络规划旨在通过对整体网络的规划从全局角度合理化应急物流过程,使应急物流依托网络构架有序进行、依靠完善的网络布置引导应急物流运作的系统化,从而顺利完成应急物资保障任务,提高物流效率,降低应急成本,具体目标分为以下四点:

- (1) 物资救援能够全面到位、持续进行,物资保障率达到 100%;
- (2) 提高应急响应速度,快捷、灵活、准确地进行物资输送;
- (3) 在保证供应的前提下,降低应急物流成本,减少应急浪费,避免非必要的消耗;
- (4) 应急物流网络在构建时不影响平时的日常工作,在运作时不妨碍灾时的其他工作,应保证救援物流活动的专业性,使其协调有序。

2.2.2 规划原则^[1]

根据 2006 年 1 月 8 日国务院发布的《国家突发公共事件总体应急预案》所提出的工作原则,建立应急物流网络规划的原则如下:

(1) 以人为本,减少危害。能够有效发挥应急物流职能,把保障公众健康和生命财产安全作为首要任务,最大程度地减少突发公共事件及其造成的人员伤亡和危害。

(2) 居安思危,预防为主。高度重视网络日常建设工作,常抓不懈,防患于未然。增强忧患意识,坚持预防与应急相结合,常态与非常态相结合,做好应对突发公共事件的各项准备工作。

(3) 统一领导,分级负责。建立健全分类管理、分级负责,条块结合、属地管理为主的应急网络构成体制,在各级党委领导下,实行行政领导责任制,充分发挥专业应急物流中心的作用。

(4) 依法规范,加强管理。依据有关法律和行政法规,加强应急管理,维护公众的合法权益,使应对突发公共事件的工作规范化、制度化、法制化。

(5) 快速反应,协同应对。加强以属地管理为主的应急物流队伍建设,建立联动协调制度,充分动员和发挥乡镇、社区、企事业单位、社会团体和志愿者队伍的作用扩充

网络,依靠公众力量,形成统一指挥、反应灵敏、功能齐全、协调有序、运转高效的应急物流管理机制。

2.2.3 规划内容

物流网络规划的主要任务是确定产品从供应起点到需求终点的整个流通渠道的结构。包括物流设施的类型、数量与位置,设施所服务的顾客群体与产品类别,以及产品在设施之间的运输方式等。设施的数量、设施的选址及物资流通的方式将直接关系到物流的运行成本,设计时必须充分考虑空间和时间两方面的因素。空间方面是指工厂、仓库、配送中心等设施的选址,时间问题是指商品的可得性以迎合顾客的服务目标。一般涉及以下具体问题^[26,28]:

- (1) 应该建立多少物流设施?
- (2) 设施应该选址于何处?
- (3) 每个设施应具多大规模?
- (4) 每个设施应为哪些客户服务?
- (5) 工厂如何给仓库、配送中心等供货?
- (6) 服务质量应为何种水平?
- (7) 应利用何种运送方式和路线?

本文研究的应急物流网络规划方法由设施选址、服务分派和集货网络构建、配送路径安排四个决策方面共同组成。

(1) 设施选址,即物流设施数量、位置、容量及上下游节点之间的归属划分等方面的决策优化,这是构建网络最基础和最重要的部分。

(2) 服务分派,即确定物流设施与服务对象的对应关系。服务分派决策的基本原则是将物流系统的每个用户都指派到距离其最近的物流或配送中心。本文划分了应急物流小区,为每个配送中心划定了服务区域,实行出救任务“责任制”。

(3) 集货网络构建,即应急物资调度网络的构建,包括物资的筹集、集中运输线路、次序的安排等,以此来保证物资的持续供应。

(4) 配送路径安排,即出救站点为受灾地所有位点配送物资的线路安排,建立优化的可行运输路径。

2.2.4 规划程序

应急物流网络规划是一项复杂的工作,包括平时的规划和灾时的规划,其具体程序

和步骤如图 2.3 所示:

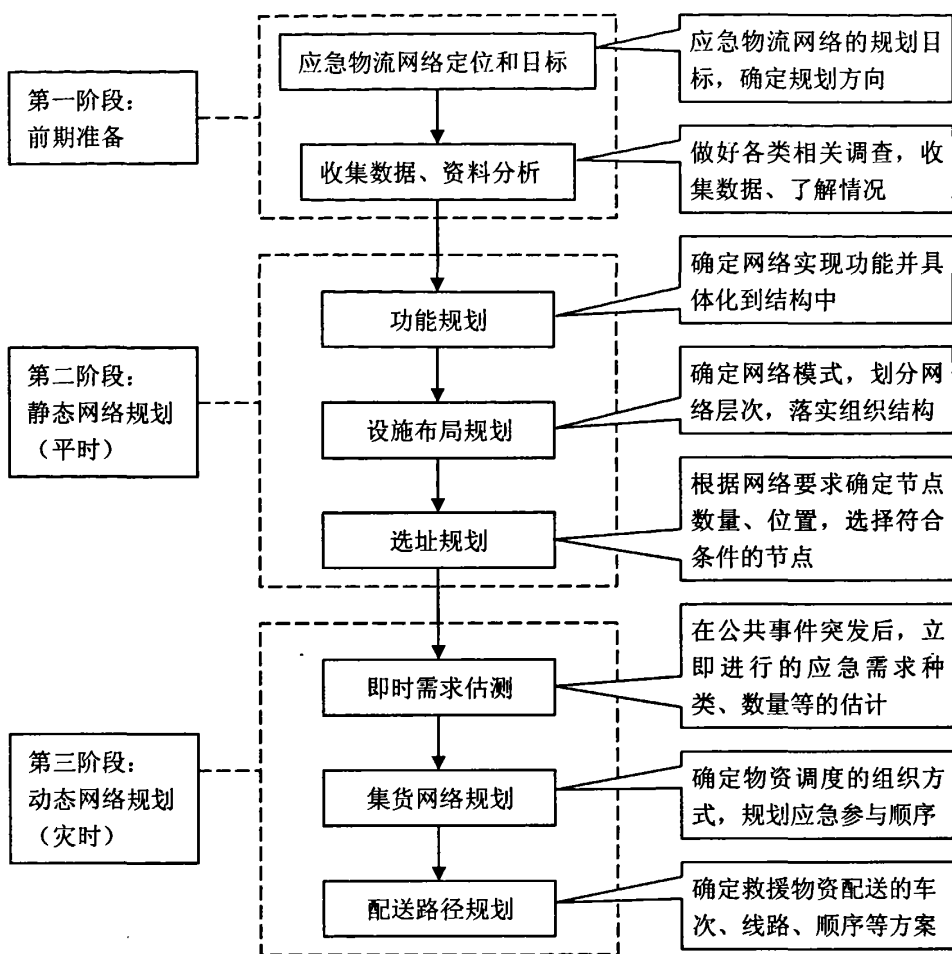


图 2.3 应急物流网络规划的程序和步骤

2.3 应急物流网络规划过程中的几点思路

(1) 构建规划系统化

应急物流网络的构建是一个系统化的过程，规划按照最终目标从点到线再到面循序推进（如图 2.4）。根据规划区域内的行政区划、地理、经济、交通等现实情况确定应急的基础站点，根据各点内在关系和社会、自然条件确定物流链，形成以综合条件优越节点为中心、其他周围节点为外围的二元结构^[21]。在此基础上，建立各个中心节点之间的联系，实现小区域互通，形成枢纽相互衔接的多核结构，规划区域在空间上实现一体化，应急物流被融入一个统一而又相互依赖的体系结构之中，在灾时可以根据突发事件的影响程度形成不同层次的应急联动。

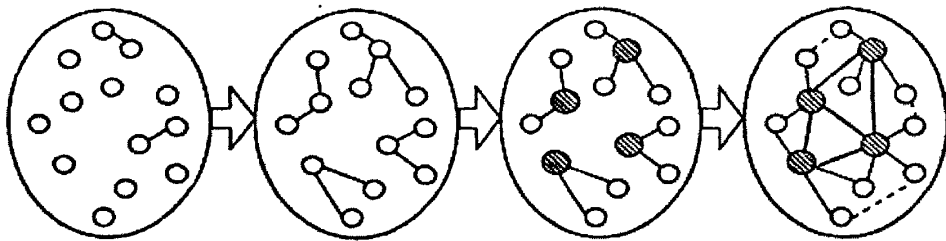


图 2.4 应急物流网络构建过程

注：资料来源于《海峡西岸经济区物流网络系统的构建》（福州大学硕士学位论文 2004）

(2) 网络建设以整合利用为主，新建为辅。

在应急环境下，物流网络规划通常表现为对原有物流网络的调整、连接、扩充，而不是进行全新的网络建设。灾时的应急物流功能应是平时的有效转换，要注重现有资源的合理利用，尽量减少应急物流的专用设施建设。

首先对区域内现有物流网络进行全面的分析，评估现有的商业物流系统应急可用能力，按照应急物流系统目标筛选，进行相应的某种程度的更改整合。在此基础上如果不能完全满足应急物资保障目标，再作进一步的分析，新建个别的物流设施填补网络空缺，完善应急物流网络的结构功能。

(3) 从保障角度进行规划

应急物流网络系统高效是物流效率最大化的关键。而长期形成的物流定式和以单纯追求经济效益最大的物流模式不利于应急物流的实现，这一点可以从 2003 年 3 月我国发生 SARS 疫情时期，曾一度表现出应急物资保障紧张混乱得到说明。因此，网络规划必须从实现应急物资保障的角度进行，才可能真正实现应急物流的流体充裕、载体畅通、流向正确、流程简洁、流速快捷^[35]。

从保障的角度出发，落实到规划中就是在构建网络时建立相应的机制：监测预警及应急预案机制，提高对应急事件的预警情况处置的快速反应，做到“有备无患，有患不乱”；政府协调机制，紧急状态下处理突发性事件的关键在于政府职能的有效发挥，加强其对于应急网络运作的指挥和协调；全民动员机制，有效调动民众的主观能动性，扩大应急物流网络，最大限度地创造有利的救援环境；“绿色通道”机制，网络构造要保证在灾时形成救援的“绿色通道”，给予应急物资优先通过权，保证应急物资的顺利送达。

2.4 本章小结

本章提出了依托应急物流网络来保障应急物流顺利开展思路，介绍了应急物流网络的组成要素，并指出了该网络运作逆向、结构复杂、高度参与、信息先导的特性。在此基础上，阐明了应急物流网络规划的目标，提出了规划原则，介绍了规划的主要内容和程序。最后，阐述了本文研究的应急物流网络在规划过程中的几点重要思路。

第三章 应急物流网络中的节点布局选址方法研究

3.1 物流网络节点选址方法

物理结构是物流系统运行的基础,因此物流网络中节点的选址布局对于网络的构成具有决定性的作用。近 30 年来,选址理论发展迅速,各种不同的选址方法也越来越多,特别是电子计算机的广泛应用,促进了物流系统选址问题的研究,为不同方案的可行性分析提供了强有力的手段^[23]。

3.1.1 选址原则^[28]

无论是何种性质的物流活动,其网络节点的选址过程应同时遵守适应性、协调性、经济性和战略性这四项普遍原则。

(1) 适应性原则。物流中心的选址须与国家以及省市的经济发展方针、政策相适应,与我国物流资源分布和需求分布相适应,与国民经济和社会发展总体相适应。

(2) 协调性原则。物流中心的选址应将国家的物流网络作为一个大系统来考虑,使物流中心的设施设备在地域分布、物流作业生产力、技术水平等方面互相协调。

(3) 经济性原则。物流中心发展过程中,有关选址的费用,主要包括建设费用及经营费用两部分。物流中心的选址定在市区、近郊区或远郊区,其未来物流活动辅助设施的建设规模及建设费用,以及运费等物流费用是不同的,选址时应以总费用最低作为物流中心选址的经济性原则。

(4) 战略性原则。物流中心的选址,应具有战略眼光,一是要考虑全局,二是要考虑长远。局部要服从全局,目前利益要服从长远利益,既要考虑目前的实际需要,又要考虑日后发展的可能需要。

3.1.2 选址方法^[23,37]

由于选址分析需要详细的需求和运输信息,产生了很强的数据密度,因此必须使用复杂的模型和分析技术有效地对复杂和高密度的数据进行分析,从而确定最好的方案。用于支持选址的方法概括起来分为四大类:

(1) 专家选择法

专家选择法是以专家为索取信息的对象,运用专家的知识和经验,考虑选址对象的社会环境和客观背景,直观地对选址对象进行综合分析研究,寻求其特性和发展规律,并进行选择的一种选址方法。最常用的有因素评分法和德尔菲法。

(2) 解析方法

它是通过数学模型进行物流中心网点布局的方法。采用这种方法,首先根据问题的特征、外部条件和内在联系建立起数学模型或图解模型,然后对模型求解获得最佳布局方案。数学方法的特点是能获得精确最优解。但是,这种方法对某些复杂问题难以建立恰当的模型,或者由于模型太复杂,使得求解困难或要付出相当高的代价。因而,这种方法在实际运用中受到一定的限制。采用数学方法建立的模型通常有微积分模型,线性模型和整数模型等。对某个问题究竟应建立什么样的模型,应该根据具体问题具体分析。

(3) 模拟方法

物流中心网点布局的模拟方法,是将实际问题用数学方程和逻辑关系的模型来表示出来,然后通过模拟计算和逻辑推理确定最佳方案,这种方法较之数学模型找解析解较为简单。采用这种方法进行布局时,分析者必须提供预定的各种网点组合方案,以供分析评价,从中找出最优组合。因此,决策的效果主要依赖于分析者预定的组合方案来判断是否接近最优,这也是该方法的不足所在。

(4) 启发式方法

启发式方法是针对模型的求解方法而言的,是一种逐次逼近最优解的方法,这种方法对所求得解进行反复判断、修正,直到满意为止。启发式方法的特点是模型简单,需要进行方案组合的个数少,因此,便于寻求最终解,此方法虽不能保证得到最优解,但只要处理得当,可获得决策者满意的近似解。

以上方法(1)为进行选址的定性方法,(2)、(3)、(4)都是从微观的角度出发,对物流中心的情况进行定量分析的方法。

3.2 应急物流网络的构建思路

3.2.1 应急物流网络节点选址原则

一般确定物流节点最优位置的主要目标是使总运营成本最小,其中考虑的主要成本有运输费用、运营费用、选址固定费用和重新选址费用等四种。运输费用取决于运输距离、运输方式和运输量。运营费用取决于可重复使用的资源费用,如劳动力、公用事业费用和其他开支。物流中心选址的固定费用一般是最初投资的年费用,包括土地使用、设备和建筑费用。重新选址费用包括将设备移到新物流中心地址的费用、新物流中心初建费用和关闭旧址的设施费用。如果要创造新的物流节点,建设新的物流中心,选址还包括其他限制因素,如所选位置的数量及可得性、供应源(工厂或仓库)能力、消费点(仓

库或顾客)的需求、建新物流中心的总资金等。

因突发性公共事件的发生而形成的物流活动概率较低,应急物流设施的使用频率也是非常低的,远远不能与日常物流相比。其四种费用成本的比例与日常商业物流大不相同。所以,在构建物流网络的的时候,不能采取某个企业或者某个行业的物流网络建设方法、进行全新的配送网络计划。如果在一个区域范围内精确选址、大量新建物流中心、购置新设备,势必导致大量的资源浪费和设备闲置。因此,在选址过程中,应尽量避免不必要的建设,加强对现有资源的利用,对现有设施设备及功能要素进行整合、改造、扩充、拓展,增加普通物流中心的应急功能,使其在完成日常物流活动的同时具备特殊时期应急能力。

鉴于应急物流的上述特性,在选择应急网络站点时,只要满足 100%覆盖率和快速反应能力,不必苛求节点位置的精确性,而应更多地考虑物流节点之间的联系紧密度、货物流动的顺畅性、作业稳定性、救急保障率等。

3.2.2 应急物流网络轴辐式拓扑结构

物流效率直接依赖和受限于物流的网络结构。节点(配送站点)的地理位置和容量决定了物流网络结构的主要方面,因此,节点选址对于应急物流系统的运行和管理具有战略性意义^[23]。

根据《国家突发公共事件总体应急预案》对于应急工作提出的“统一领导,分级负责”工作原则以及本文 3.2.1 的特性分析提出的选址要求,构建多枢纽站联合分派的轴辐式应急物流网络,其拓扑结构如图 3.1。

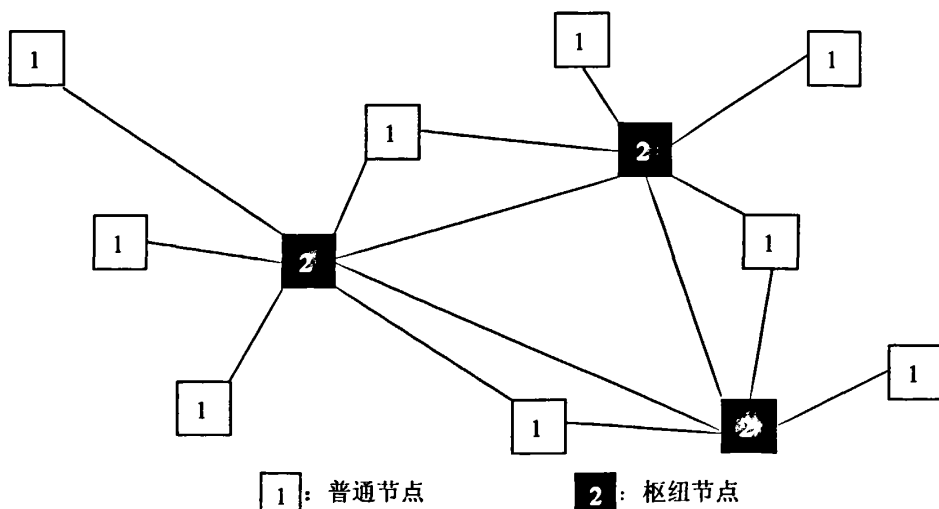


图 3.1 轴辐式应急物流网络拓扑结构

实践证明,轴辐式网络模式突出的优势为规模经济,其最大的特征是交通流量在支柱链路上高度集聚,使交通流单位距离的运输成本降低,基于这一优势,即使运输链路稍长,但它往往还是有利于整个网络成本的降低。“轴—辐”结构要求交通运输在时空上集中,建设区域性多功能的枢纽,通过枢纽的拆箱、分拣、转运和配送,实现全程物流管理,要求各种交通方式在整个物流网络系统中特别是在节点上协调分工,实现无缝衔接^[38]。

运用在应急物流网络中,图 3.1 所示的两类节点分别演变为应急物流配送站点和枢纽站点。第一类是负责应急物资输送的配送站点(如图中“1”),该类节点数量较多,在物流网络中实现与物资需求点的连接,是直接进行救急的配送中心。每个应急配送站点负责一片固定区域的救急运输任务,当所负责区域突发公共事件之后该站点就成为实际的“出救点”(以后将要提到的“出救点”在物理意义上就是配送站点)。第二类是应急物流网络中的枢纽点(如图中“2”),其从第一类配送站点中产生,除了自身可能的出救任务之外,还分管附近区域的配送站点,具有较大规模的物资集散、保管、调遣等功能,是物流实际活动中出救点的指挥中心和后援基地,在应急状态下实现物资补充、协调管理。其属于综合型的物流中心。

这种分层次的网络结构,符合政府物流组织行为的特点,反应速度快、执行效率高,便于政府宏观调控和进行统一的应急调度指挥。同时,双层结构在灾时更能满足突发性公共事件物资需求量大、供应持续性的要求,为应急运输开辟绿色通道,保证了救援物资输送的有序性和充足性,其具体运行组织方式见本文第四章 4.3 节。

3.2.3 配送站点选择及枢纽点定位的双层选址

如图 3.1 所示的拓扑结构,要构建应急物流网络,必须解决两大问题:一是在规划区域内选定应急配送站点,也就是应急物流中进行救援物资配送的所有可能出救点;二是在这些确定的配送站点中,选取符合应急特殊要求的枢纽点,实现应急货物的统一集散和中转,便于应急配送的统筹和协调。

这样,应急物流网络节点选址布局就演变为两个连续的问题。由于完全定量化的优化技术不能全面准确地反映应急物流网络优化决策的现实要求,而节点选址决策又具有重要的战略地位,实践中往往是采用半定量化的方法来辅助物流网络优化决策。鉴于应急物流网络构建的全面覆盖要求和整合利用原则,本文提出了通过定性的专家选择法、定量的解析方法、启发式方法的综合运用,构建带枢纽的应急物流网络,在充分利用现

有设施的基础上,获得较优可行解,重点在于凸现这种网络的有序和紧密联系,以便他日应急物流活动的顺畅进行。

首先将应急规划区域分为若干个物流小区,在每个小区内确定配送站点,以此来保障应急物流网络的全面覆盖率和灾时应急速度;在这个基础上,按照应急要求遴选合适的站点将其升级为枢纽点,构建完整的、有序的应急物流静态网络,为灾时调度作好硬件准备。

3.3 应急区域划分——形成物流小区

3.3.1 划分目的及原则

在某个区域内构建应急物流网络的第一步就是要进行应急区域划分,将该区域划分成若干个物流小区,其目的主要有三点:(1)满足应急物流网络的 100%覆盖率;(2)便于选择应急配送站点;(3)在发生突发事件时,救急任务的权责分明。

相应的区域划分有如下规则:(1)最少数原则^[29],区域数越少则运转点数越少,所需的固定资产投资也越少,只要通过合适的技术,在干道运输中取得较高的通过率,可达到应急物流成本合理的目的;(2)最小必要数原则,由于应急物流的高时效性要求,势必限制了出救配送半径,因此区域划分至少要达到一定的数量来满足快速全面反应的要求;(3)物流量均衡原则^[29],通过干道运输连接的两个出救点的设计能力和节点物资流量不能差别太大;(4)区域再分原则,当某一区域内的人口密度、交通状况突变时,要能实现区域的整合或分割。

3.3.2 划分方法

应急物流与日常商业物流最大的区别在于其物流活动的发生地、流向、流量无法预计。因此,不可能在平时对物流需求做出预测,这就决定了应急物流小区的划分不能像一般的物流规划那样通过需求 OD 调查来进行。

由于应急物流属于社会物流范畴、政府物流行为,按照行政区划划分物流小区是比较合理的。从效率上来看,按照行政区划划分有利于行政命令的上传下达,也避免了应急物流实际操作时的权责不清,能够有效提高救援效率;从经济角度看,由于各种社会、经济基础资料一般都是按行政区划规划的,利用现有建制也能节约物流成本。如果构建全国性的网络,可以以省或片区作为物流小区单位;如果构建省域网络,可以以市为一个小区单位;如果构建市域网络,则以县、区为小区单位。在特殊情况下,也将人工边界(铁路线、隧道等)、自然边界(河流、山脉等)作为小区的边界。另外,在此基础上,

物流小区的划分还要适当考虑本区域周边相关区域的情况，以及该区域内各行政区的自身情况，加以整合，如将较大面积的行政区进行分割、小面积行政区进行组合等。

划分了物流小区之后，在每个小区中确定一个配送中心作为应急配送站点，如图 3.2 所示，该站点辐射整个小区（在一些特殊情况下，外围点也可能被其他站点辐射）。这样，就以小区为单位实现了应急物流网络的 100%覆盖率。

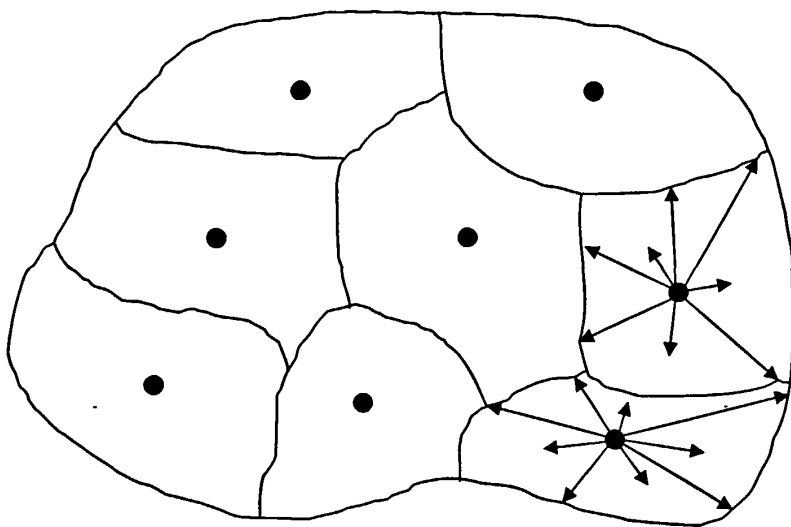


图 3.2 物流小区示意图

3.4 应急配送站点的确定

3.4.1 配送站点比选模型（小区内有可用点）

如上文分析，如果划分好的物流小区内有多现用的、条件比较适合的物流或配送中心，可以根据应急要求标准进行对比评判，选择一个物流中心作为应急配送站点，拓展其应急能力，平时进行日常物流活动，在非常时期启动应急物流功能。

3.4.1.1 影响因素分析

因为现有的物流中心一般都应该满足选址的基本条件，在建立评价体系中，主要针对应急物流的特点来设定各项指标。主要考虑的因素有：

(1) 出救覆盖率。由于突发事件的不确定性，为了保证区域内任何可能点的应急物流服务，兼顾远近，必须考虑站点的出救半径以及在整个区域范围内的辐射能力。

(2) 应急反应速度。应急物流最大的特点就是时效性要求高，响应速度的快慢一方面在于信息的准确联通；另一方面，更取决于实际操作中的交通能力和运输速度，拥有

良好的交通网络条件是快速反应的前提。因而通常应将应急配送站点设在城市周边而非中心，避免运输拥堵，保证应急畅达。

(3) 经济合理性因素。应急物流网络规划的目的就是如何在满足时效要求的前提下提高其经济效益，不计代价的高效率是不可取的。在选择时要充分衡量站点现在的运行情况和扩建成本以及在灾时状态下的特殊成本。

(4) 可持续发展因素。为应急而生的配送站点不能为了达到救援目的而破坏其他社会利益，要在实现与站点原物流功能协调的基础上达到与外部的协调，同时考虑到应急物流发生时的膨胀率，为后续的调整扩大留有余地。

3.4.1.2 比选评价体系的确定

选择评价指标时应遵循五项原则：(1)能全面地反映布局效果；(2)尽可能采用定量指标；(3)重视定性指标的作用；(4)在保证评价效果的前提下，指标数目要尽可能小；(5)各项指标应具备独立性。

由此，建立评价体系如图 3.3 所示。

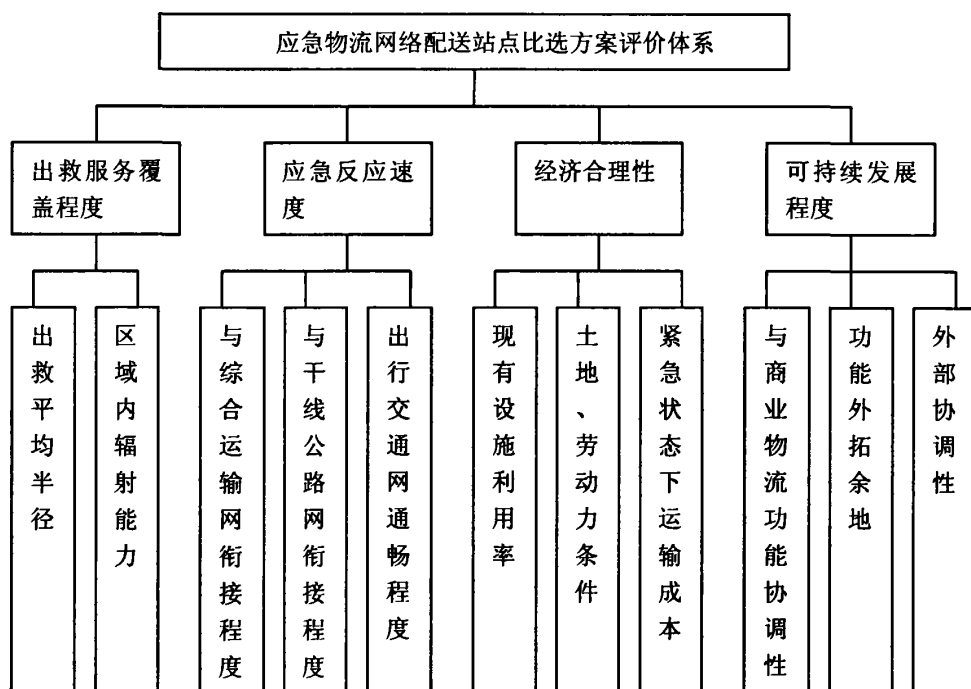


图 3.3 应急物流网络配送站点比选评价指标

在比选评价体系建立之后，为其中的各个指标确定权重，常用的方法包括专家预测法、频数统计法、主成分分析法、模糊逆方程法、层次分析法等^[41,42]。

3.4.2 单源连续选址模型（小区内无可网点）

3.4.2.1 模型的建立

如果在某个应急物流小区内没有物流配送中心，或者是物流配送中心从根本上无法满足应急物流要求，那么只能在该小区内寻求最合适的地点新建应急物流配送站点。这个出救点的地理位置应尽可能接近需求分布的重心位置，在满足配送时效性前提下寻求总运输周转量最低的选址方案。

为了构建选址模型，作如下假设：选址目标区域是连续的，区域内任意一点都是候选地点；用两点间的直线距离近似代替两点间的运输距离。

设拟建的救援配送站点地址坐标为 (X, Y) ，则有

$$\text{目标函数: } \min Z = \sum_{i=1}^n d_i K \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2} \quad (3.1)$$

$$\text{约束条件: } K \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2} - D_i \leq 0, i = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

式中： Z —— 总运输周转量；

n —— 需求点的数量；

i —— 需求点， $i = 1, 2, \dots, n$ ；

d_i —— 需求点 i 的需求量；

K —— 把地图上长度换算成 km 的距离换算因子；

x_i —— 需求点 i 的横坐标；

y_i —— 需求点 i 的纵坐标；

D_i —— 需求点 i 的最大允许配送距离。

模型是以最小运输周转量为目标的，式中约束条件对于应急出救半径作出了限制，不允许出救半径过长，这样就保证了应急物流的时效性，在这个前提下来寻求最经济的站点。

3.4.2.2 模型的求解

从(3.1)和(3.2)式中可以看出，同时考虑经济性原则和时效性原则的选址模型是一个有约束非线性规划的求最小值问题。这个问题可以直接调用 MATLAB 优化工具箱中的优化函数进行运算求解^[43]。MATLAB 优化工具箱中的 `fmincon()`函数就是求解多变量有

约束非线形函数极小值的函数，非常适合求解有时效性要求的应急物流网络中应急配送站点选址问题。

fmincon()标准数学模型为

目标函数： $\min f(x)$

约束条件： $c(x) \leq 0$

$$ceq(x) = 0$$

$$A \cdot x \leq b$$

$$Aeq \cdot x = beq$$

$$lb \leq x \leq ub$$

式中， x 是所求的地址坐标向量， A 和 b 分别是线性不等式约束的系数矩阵和向量， Aeq 和 beq 分别是线性等式约束的系数矩阵和向量， lb 和 ub 分别是 x 取值的上限和下限， $c(x)$ 和 $ceq(x)$ 分别是非线性不等式和等式的约束函数。

将带时效性的出救点选择模型代入：

$$\min f(x) = \sum_{i=1}^n d_i K \sqrt{(X-x_i)^2 + (Y-y_i)^2} \quad (3.3)$$

$$c(x) = K \sqrt{(X-x_i)^2 + (Y-y_i)^2} - D_i \quad (3.4)$$

fmincon()函数调用格式为： $[x, fval] = \text{fmincon} (@fun, x_0, A, b, Aeq, beq, lb, ub, @con)$ 。 x 输出选址结果， $fval$ 输出目标函数值，即最小运输周转量。 fun 是用 MATLAB 语言编写的目标函数 M 文件， con 是用 MATLAB 语言编写的时效性约束 M 文件。 lb 是出救点坐标取值的上限 $lb = [\min x_i, \min y_i]^T$ ， ub 是站点坐标取值的下限 $ub = [\max x_i, \max y_i]^T$ ，由于带时效性约束的配送站点选址模型中没有等式约束条件， A 、 b 、 Aeq 、 beq 为空集。 x_0 为初始可行解。

调用 fmincon()函数需要输入初始可行解以确定寻优搜索的起点位置，为加快计算速度，把初始可行解定位在区域中心位置^[10]，即令：

$$x_0 = (\min x_i + \max x_i) / 2, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.5)$$

$$y_0 = (\min y_i + \max y_i) / 2, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.6)$$

把上面 M 文件和输入参数一起代入 fmincon()函数中，MATLAB 发挥其强大运算功

能,很快输出选址结果 $[X,Y]$ 。如果无解则说明出救半径约束过紧,应该进行适当调整。

在此强调,从应急物流要求的资源整合利用要求来说,一般情况下,尽量使用原有的物流配送中心,除非小区内根本无配送中心或完全没有改造的可能性,不鼓励新建专门的应急物流站点。

3.5 应急物流网络枢纽点定位

在按物流小区划分选取各个应急配送站点之后,为了使应急物流实现分类管理、分级负责,条块结合、属地管理为主的应急管理体制,实行行政领导责任制,充分发挥专业应急物流指挥机构的作用,从配送站点中选取枢纽站点,加以综合改造建设,负责整个应急物流网络的指挥、调遣、协调、管理,促进配送站点之间的联系,优化应急物流网络。

3.5.1 枢纽节点与普通配送站点异同

普通配送站点一般为流通型的配送中心,基本上没有长期储存功能,仅以暂存或随进随出方式进行应急物资配装、运送。这种配送中心的典型方式是,大量物资整进并按一定批量零出,采用大型分货机,进货时直接进入分货机传送带,分送到各应急货位或直接分送到应急配送汽车上,货物在配送中心里仅做少许停滞^[46]。根据应急需要,在普通站点中设立暂存区(即小型仓库),以便在发生突发事件之后第一时间进行物资救援。其大量储存则依靠一个大型补给仓库实现。这里,枢纽点就充当了一个大型的补给站,为应急物流活动提供物资后援。

枢纽节点,是某个区域内同一层次设施节点中较为重要的中心结点。在应急物流网络中,枢纽节点在完成普通站点任务的同时,还起着应急物资中转流通、统筹管理的作用。它可以看成是综合物流中心,有很强的周转、分拣、保管、在库管理、流通加工等功能。应急物流活动对于物资需求的不确定性和批量性以及救援活动的持续性,都需有较大的库存支持。枢纽节点在应急物流过程中作为出救点的控制中心和后援补给站,必须有较强的储存功能和信息控制能力,在整个应急物流活动开始时负责统筹调配,实现对所负责配送站点的控制。

在此,枢纽节点与普通配送站点的关系如同地区主要邮局和邮政分局的关系,各自都可对客户服务,但如同分局之间的邮件、信息互递要通过主要邮局监管、流通、分配,普通配送站点之间的物资流通要经过枢纽节点进行。而枢纽节点之间可以自由流通,所有配送站点形成了一个物流网络,其中的枢纽节点则形成一个完整的子网^[44]。

3.5.2 枢纽点数量的确定

关于轴辐式应急物流网络模型中的枢纽点最佳个数问题目前国际上仍未很好解决。在理论上,不但涉及整个网络本身的节点个数、路径条件等方面,还与网络流量、折扣系数等诸多因素有关。在实际运用中,除了前述诸多理论因素需要考虑之外,还与区位条件、运输方式、枢纽建设成本等多种定性与定量因素相关。因此,很难有精确的数学方法可以求得。绝大多数研究中的轴辐式网络模型中枢纽点的个数属于人为设定。

在考查了相关文献资料之后,结合前人经验,引入枢纽点数量建议模型^[26]:

$$H=\{\lceil \sqrt{P} \rceil\} \quad (3.7)$$

$$P \leq 50 \quad (3.8)$$

式中, H —— 枢纽点数量

P —— 配送站点总数

由于应急物流小区的划分按照行政区划进行,根据我国行政分区的情况,与小区数量相同的出救点数量一般不会超过 50。在 50 个点以内,模型的数量关系具有现实意义,较符合带枢纽物流网络的结构要求。

模型表示将配送站点数量值开根后取整数,以此获得一个可选择的范围。例如在一个有 12 个配送站点的应急网络中, $P=12$, 则 $H=\{\lceil \sqrt{12} \rceil\}=\{3, 4\}$, 即建议选取 3 个或者 4 个枢纽点。

根据应急工作开展的原则,枢纽站点的数量只要满足调配要求,应尽量少,以减少建设费用和管理费用。所以一般情况下尽量取较小的整数,则模型可简化为:

$$H=\text{Ceil}(\sqrt{P}), P \leq 50 \quad (3.9)$$

当然,这仅是一个参考模型,枢纽的数量最终应当根据客观实际情况,视应急区域大小和物流小区之间组织结构而定。一般,如应急物流小区在 10 个以下,枢纽点不超过 3 个;应急物流小区在 10—20 个,枢纽点不超过 5 个;应急物流小区在 20 个以上,酌情增加。

3.5.3 枢纽定位模型

应急物流枢纽定位问题,即在一个给定数量和位置的应急配送站点集合中,选取 q 个枢纽节点来满足这个集合中所有配送点之间的流通需要,同时每个应急物流小区内的救援物资配送由一个特定配送站点来完成(由一个特定的配送站点充当某次救援的出救

点), 在此过程中使得应急物流网络的运输流通成本最小。

经验证明, 在一定范围内, 配送站点通过两个枢纽节点的转运基本能够与其他节点互通。所以, 本文的模型研究了最多经由两个枢纽点来完成普通配送站点货物流通的复合(复式)配送, 同时为了充分遵循成本最小化的原则, 模型还结合了 p -中值问题(p 个配送点为已知的遇难点进行应急物资配送的优选问题)将出救配送成本考虑在内。

为了便于模型求解, 并使模型具有使用价值, 作如下假设:

- (1) 应急配送站点集合已知, 需要设立的枢纽点的数量已知;
- (2) 各配送站点的容量均能够满足需求(无容量约束);
- (3) 虚拟受灾点(或避难点)的物资需求量已知;
- (4) 枢纽点之间、枢纽点与普通配送站点之间的运输单位成本已知;
- (5) 设定枢纽点需要的固定建设费用已知;
- (6) 运输费用与运量、运距成正比。

用 i, j 表示配送站点, m, n 表示枢纽点, k 表示受灾地(或避难点), 建立 UHLP* (uncapacitated hub location problem) 数学模型, 即无容量约束的枢纽点定位模型:

$$V^*(UHLP) = \min \left(\sum_{i \in G} \sum_{m \in H} \sum_{n \in H} \sum_{j \in G} v_{ij} \cdot c_{imnj} \cdot x_{imnj} + \sum_{m \in G} f_m \cdot y_m + \sum_{k \in K} \sum_{j=1}^p \omega_{kj} \cdot d_k \cdot z_{kj} \right) \quad (3.10)$$

$$\sum_{m \in H} \sum_{n \in H} x_{imnj} = 1 \dots \forall i, j \in G \quad (3.11)$$

$$x_{imnj} \leq y_m \dots \forall i, j \in G, \dots m, n \in H \quad (3.12)$$

$$x_{imnj} \leq y_n \dots \forall i, j \in G, \dots m, n \in H \quad (3.13)$$

$$x_{imnj} \geq 0 \dots \forall i, j \in G, \dots m, n \in H \quad (3.14)$$

$$s.t. \left\{ \sum_{j=1}^p z_{kj} = 1 \dots \forall k \in K \quad (3.15) \right.$$

$$z_{kj} - y_j \leq 0 \dots \forall k \in K, \dots j \in G \quad (3.16)$$

$$\sum_{j \in G} y_j = q \quad (3.17)$$

$$y_m, y_j \in B \quad (3.18)$$

$$z_{kj} \in B \quad (3.19)$$

式中: G —— 所有出救点的集合, 数量共有 p 个;

H —— 从 G 中选出的枢纽点的集合, 根据枢纽点数量建议模型确定数量;

v_{ij} —— i 点和 j 点之间的流量;

c_{imnj} —— 节点间线路权重 (运输成本), 由公式 $c_{imnj} = c_{im} + \alpha \cdot c_{mn} + c_{nj}$ 计算得到,
 α 是一个经验系数 ($0 < \alpha \leq 1$);

x_{ikmj} —— i 点和 j 点之间经由枢纽点 m 和 n 流通的流量占 v_{ij} 总流量的百分比;

f_m —— 将 m 节点设立为枢纽的固定费用;

y_m —— 决定枢纽点选定的 0-1 变量;

K —— 遇难点 (或避难点) 的集合;

ω_{kj} —— 遇难点 k 与设施点 j 之间的线路权重 (运输成本);

d_k —— k 点的物资需求量;

z_{kj} —— j 点是否为 k 点进行出救服务的 0-1 变量;

$V^*(UHLP)$ 表示目标函数, 包括节点间流通费 ($\sum_{i \in G} \sum_{m \in H} \sum_{n \in H} \sum_{j \in G} v_{ij} \cdot c_{imnj} \cdot x_{ikmj}$)、枢纽设

施建设费用 ($\sum_{m \in G} f_m \cdot y_m$)、出救配送费用 ($\sum_{k \in K} \sum_{j=1}^p \omega_{kj} \cdot d_k \cdot z_{kj}$) 三个部分。

约束(3.11)保证了任意两个配送站点之间由确定的枢纽点负责联通; (3.12)、(3.13)表示只有当普通配送站点被设为枢纽点时, 才有经过该点的流通量产生; (3.14)确保任意配送站点之间的流量不为负数; (3.15)、(3.16)保证了虚拟受灾点的物资需求得到固定应急配送站点的运送; (3.17)则确保了枢纽节点选取数量为 q 个。

3.5.4 算法研究

枢纽定位模型是一个基于经济性原则的解析模型, 由于应急物流网络节点布置属于应急静态网络的构建问题, 出现紧急状况时的物资需求地理位置无法在构建网络时确定, 不能形成数据化的时效参数, 时效性不能直接而精确地反映于模型之中。因此, 定量计算只能基于经济层面展开。

而开展应急物流活动时的时效性还需通过定性方法来保障, 且只能从整个地区兼顾的角度来考查配送站点和枢纽点的反应能力。上述模型亦属于 NP-hard 问题, 单纯的精确计算算法计算量很大。因此, 如果应用定性与定量结合的方法, 不但保证了应急出救的时效能力, 更大大降低计算量, 可以使问题求解变得简单易行。因此, 本文在应急配送

站点的数量、位置及其它信息比较全面的基础上,采用专家选择法和启发式算法相结合求解较优方案,由前者保证时效性,后者保证经济性。

3.5.4.1 因素评分法

因素评分法^[23]是专家选择法中使用最广泛的一种,本文首先通过因素评分法作出定性分析,初步删选,去掉部分得分最低的节点,也就是根据实际情况最不适合作枢纽的节点。因素评分法步骤如下:

- (1) 列出影响选择的各个因素;
- (2) 给出每个因素的分值范围;
- (3) 由专家对各个节点就各个因素打分;
- (4) 将各点得分相加,去掉分数最低的若干点。

由于本文首次提出应急物流网络枢纽点选择问题,没有现成的评分标准,在参考了大量文献之后,结合应急物流特性,确定如表 3.1 所示因素及其分值。在构造因素时重点突出了应急的时效要求。

表 3.1 应急枢纽定位的影响因素及其分值范围

影响因素	分值范围	影响因素	分值范围
地理位置	0~500	动力、能源情况	0~200
交通条件	0~300	运输成本	0~100
人口密度	0~300	原供应商情况	0~100
外部协调性	0~250	建设成本	0~100
经济辐射能力	0~250	劳动力环境	0~100

3.5.4.2 贪婪取走算法

由于构建应急物流网络配送站点按照行政区划划分进行,同时要遵从最少原则,一般应急物流网络中枢纽点的数量比较有限。因此,运用简单的贪婪取走启发式算法^[30]就可达到运算目的,具有现实意义。步骤如下:

第一步,将经过因素评分法后剩下的 i 个备选点全部选中作为枢纽点;

第二步,计算枢纽点设施建设费用 Q_f ; 根据各出救点之间的中转量及位置关系,求出流通费用 Q_l ; 将每个客户指派离其最近的节点,计算出出救配送费用 Q_p ;

第三步,求出此时状态下的总应急物流费用 V ;

第四步,确定一个要取走的备选点,其必须满足:取走该点后,总费用增加量最小;

第五步，从备选点中去掉该点，如果剩余节点数 $i-1=q$ (q : 枢纽点要求数)，停止；否则，转第二步。

3.6 应用举例

某地区构建应对突发卫生事件的医药品物流应急网络，如图所示，该地区共有 5 个行政辖区，已分别设立药品配送站。现为了充分保证该地区的急救工作，决定设立能够储存较多药品的枢纽站，同时对其他站点药品流通进行统筹管制（其他站点不得自由流通）。为同时保证应急网络的出救配送，虚拟 10 个需要医药品救急的遇难点。各配送节点之间的运输成本 c_{ij} 、各节点若扩建的费用 f_m 、配送点到各虚拟需求点的运输成本 ω_{kj} 、各急救站药品平均需求量 d_k 如下所示，各节点间药品平均互供情况 v_{ij} 如下表。试确定枢纽站点，使在满足时效要求下应急运输成本最低。

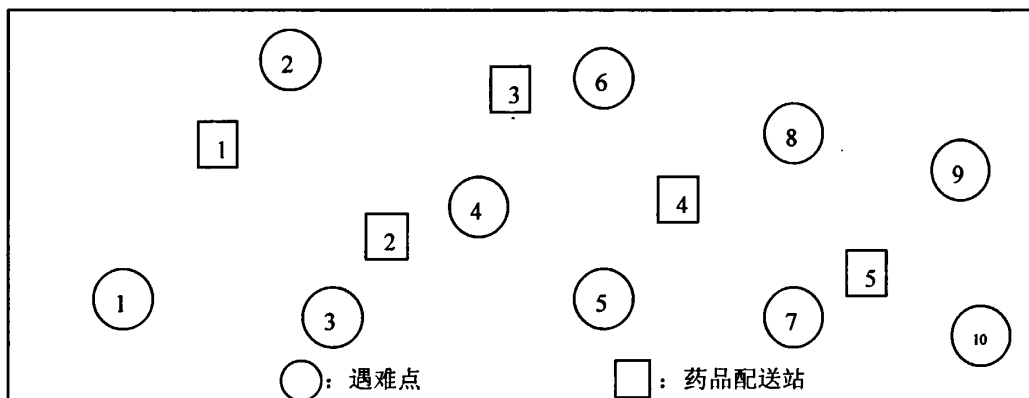


图 3.4 配送站及急救点位置

$$f_m = [100 \ 120 \ 110 \ 80 \ 140]$$

$$c_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 4 & 6 & 9 \\ & 0 & 3 & 4 & 7 \\ & & 0 & 2 & 5 \\ & & & 0 & 3 \\ & & & & 0 \end{bmatrix} \quad v_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 30 & 10 & 0 & 0 \\ & 0 & 20 & 10 & 10 \\ & & 0 & 40 & 0 \\ & & & 0 & 30 \\ & & & & 0 \end{bmatrix} \quad \omega_{kj} = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 6 & 8 & 11 \\ 1 & 2 & 4 & 5 & 9 \\ 3 & 1 & 4 & 5 & 7 \\ 3 & 1 & 2 & 3 & 5 \\ 5 & 3 & 3 & 2 & 4 \\ 5 & 4 & 1 & 1 & 4 \\ 7 & 6 & 6 & 3 & 1 \\ 8 & 7 & 5 & 2 & 2 \\ 10 & 9 & 7 & 4 & 2 \\ 11 & 9 & 8 & 5 & 2 \end{bmatrix} \quad d_k = \begin{bmatrix} 30 \\ 10 \\ 70 \\ 20 \\ 80 \\ 30 \\ 20 \\ 50 \\ 20 \\ 20 \end{bmatrix}$$

(1) 首先，根据枢纽点数量建议模型公式求得需要设立枢纽点的数 $H = \text{Ceil}(\sqrt{5}) = 2$ ，

即设立两个药品枢纽站。

(2) 根据因素评分法, 去掉最不可能成为枢纽节点的站点 (因在实际运用中需要专家打分, 此处仅根据因素评分表及经验判断, 可知节点 1 和节点 5 不适合作为枢纽)。

(3) 将剩下的节点 2、3、4 都作为枢纽节点, 计算得到枢纽站点建设 $Q_j=370$; 配送结果为 $[1 \ 1 \ 2 \ 2 \ 4 \ 3 \ 5 \ 4 \ 5 \ 5]$, 计算得到配送费用 $Q_p=490$; 节点间流通费用

$$[Q]=\begin{bmatrix} 0 & Q_{12} & Q_{13} & Q_{14} & Q_{15} \\ & 0 & Q_{23} & Q_{24} & Q_{25} \\ & & 0 & Q_{34} & Q_{35} \\ & & & 0 & Q_{45} \\ & & & & 0 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 0 & 60 & 40 & 0 & 0 \\ & 0 & 60 & 40 & 70 \\ & & 0 & 80 & 0 \\ & & & 0 & 90 \\ & & & & 0 \end{bmatrix} \quad Q_f=440; \text{总费用 } V=1300。$$

(4) 若删去节点 2, 枢纽设施建设费用 $Q_j=250$; 配送费用 $Q_p=490$; 节点间流通费用

$$[Q]=\begin{bmatrix} 0 & Q_{132} & Q_{13} & Q_{14} & Q_{15} \\ & 0 & Q_{23} & Q_{24} & Q_{245} \\ & & 0 & Q_{34} & Q_{35} \\ & & & 0 & Q_{45} \\ & & & & 0 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 0 & 210 & 40 & 0 & 0 \\ & 0 & 60 & 40 & 70 \\ & & 0 & 80 & 0 \\ & & & 0 & 90 \\ & & & & 0 \end{bmatrix} \quad Q_f=590; V'=1330, \text{费用增量}$$

为 30。

(5) 若删去节点 3 (计算方法同上), $Q_j=260$; $Q_p=490$; $Q_{13}=Q_{123}=50$, $Q_f=450$; $V'=1200$, 费用增量为-100。

(6) 若删去节点 4 (计算方法同上), $Q_j=290$; $Q_p=490$; $Q_{45}=Q_{435}=210$, $Q_f=560$; $V'=1340$, 费用增量为 40。

(7) 比较费用增量, 应删去节点 3, 此时剩余 2 个节点, 满足题设要求, 选择节点 2、4 作为枢纽站点, 总费用为 1200, 流通及配送关系如图 3.5。

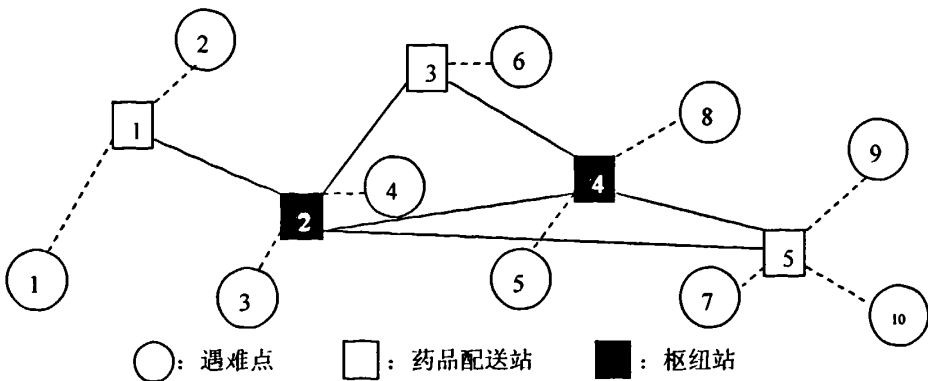


图 3.5 枢纽配送站位置及流通配送关系

上述例子证实了应急物流网络枢纽定位模型的可行性，这里只是简单的作出了举例运算，解法是比较有效的。通过验算也证明了枢纽点定位问题可以不用考虑出救配送问题，虚拟受灾点的具体位置只关乎本文第四章的调度，不影响枢纽选址问题，因此确定枢纽节点只需在设施点层面进行。

本文构建的应急物流网络结构具有良好的拓展性，当遇上类似“非典”这种全国性的灾害，还可以将多个地区性的应急物流网络联网，组成一个区域性、全国性的应急物流网络体系，实施应急保障。而本文提出的模型方法亦可嵌套使用进行更多层次的网络建设。

3.7 本章小结

本章简要介绍了物流网络节点选址的方法和原则，在此基础上提出了应急物流网络节点规划的新思路——根据应急物流的特性构建带有枢纽的“轴辐式”网络。该双层网络结构在灾时更能满足突发性公共事件物资需求量大、供应持续性的要求，为应急运输开辟绿色通道，保证了救援物资输送的有序性和充足性。

从应急物流网络高时效性、全面覆盖率的要求入手，引入应急物流小区的概念，以行政区划划分小区满足应急物流“统一领导，分级负责”的政府行为特性；在选择配送站点时针对两种情况分别建立了对应的选择模型，充分响应应急工作利用现有资源的号召而又不拘泥于此，提供了后续方法。最后，根据网络结构建立了枢纽定位模型，以因素评分法作定性分析，结合贪婪取走启发式算法求解，并拓展了模型的适用性。

第四章 应急物流网络中的物资调度路径决策研究

4.1 应急物流调度路径决策问题实质

4.1.1 问题性质

本章研究的应急物流网络物资调度路径决策与第三章的节点选址同属物流网络规划问题，是网络规划不可分割的两个部分。

节点选址是静态网络的构建，按照应急物流的特性布置救援站点，保障网络覆盖面，进行必要的硬件建设，属于应急物流网络规划中的前期规划，也是应急物流活动的常时准备；而调度路径决策，即线路选择，是构建动态网络的过程，完成救援物资组织调度，保障物资的快速输送，属于规划中的应用问题，是应急物流活动的灾时实际工作。

节点选址是路径决策的基础，应急物流效率直接依赖和受限于静态网络结构。配送站点的地理位置决定了物流网络结构的主要方面，因此，前者对应急物流规划具有战略性意义。而路径决策属于战术层的应用策略，线路的组织安排、运输动态网络的构建是突发公共事件后的实际物流操作问题，因此，解决好物资调度的路径决策问题，是应急物流及时、有效的关键。

4.1.2 研究目的

发生突发公共事件后，组织实施应急救援活动的基本原则是集中管理、统一指挥规范运行、标准操作、救援高效。开展应急物流活动也要遵循这个原则，争取通过物资调度网络路径决策开辟应急物资绿色通道，确保应急物流以较快的速度有条不紊的进行。

在这个过程中，为应急物流确定合理的物资输送线路、救援配送线路，将应急物资的动员筹集分解落实到相关地区，储备足够数量的应急运力，准确掌握应急运力所属运输企业、核载吨位、联系方式等信息，确保主管部门、运输企业、应急运力形成畅通高效的应急运输调度机制，合理调配运力，保证救灾用品运输任务按时完成。

4.1.3 应急物流动态网络的构建过程

各级人民政府是本行政区域内突发公共事件应急管理工作的行政领导机构，负责本行政区域内各类突发公共事件的应对工作。因此，应急物流动态网络的构建由政府机构总体指挥，根据实际需要聘请有关专家组成专家组，为应急管理提供决策建议。两者形成的应急物流管理工作小组，在需求估测、受灾方需要以及历史资料的支持下，设计

资源调配、协调的宏观方案，构建应急物流动态网络。

而各有关部门则按照职责分工和相关预案做好突发公共事件的应对工作，落实具体实效的物资救援任务。首先，根据突发公共事件的地理位置确定直接承担救援配送任务的出救点以及负责后援及统筹的枢纽站点；其次，根据事件发展态势确定参与物资集散的区域，发挥规划区域内其他站点的应急物流功能；同时，动员社会团体、企事业单位以及志愿者等各种社会力量参与应急救援工作，增进区域间的交流与合作。

动态网络的构建示意图（图 4.1）如下：

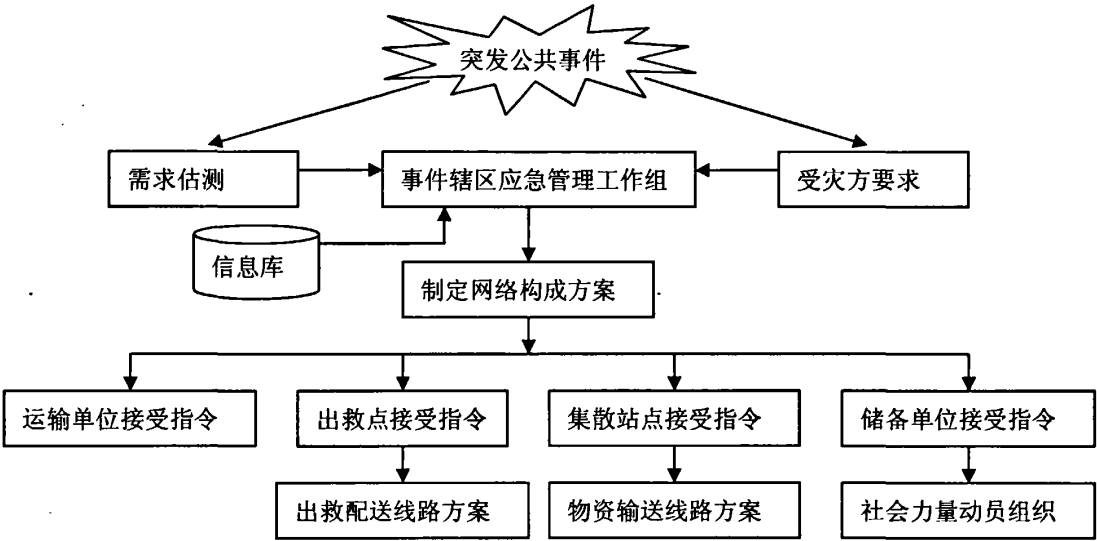


图 4.1 应急物流动态网络构建过程

4.2 应急需求即时估测

突发公共事件的发生与发展都具有很大的不确定性，相应的需求也是变化的。物资供应系统如果仅仅根据应急提出的物资需求而采取动员活动，往往会造成供应网络的反应迟滞，甚至造成物资供应中断。因此必须进行有效的应急需求即时估测，来保证应急物资的供应。

本文提出的即时估测与需求预测不同。通常情况下，普通物流的需求分析是在所有物流建设活动之前进行的，是所有物流决策的前提；而应急物流即时估测是针对突发公共事件物资需求进行的，是灾时状态下作出的即时反应，是构建应急动态网络、进行路径决策的必要准备，是救援工作持续有效开展的手段。

当突发事件的发生本身可预料（如地震、洪水等有前兆的灾害）时，应在获得灾害

信息之后马上进行应急物资需求的估算；如事件完全是突然爆发的，在事件发生后要立即进行应急物资的需求估测。

4.2.1 应急物流需求分析的特殊性

一般商业物流的需求之所以能预测，是因为市场的发展变化总呈现出一定的规律或表现出一定的特征。这些规律或特征形成了预测的理论依据，可根据一定的预测原理来进行需求分析，除了主观的市场调查法、德尔菲法、小组意见法等主观预测方法，更有时间序列平滑预测模型、回归预测模型、产销平衡模型、计算机仿真模型等几大类定量预测模型可进行短、中、长期的预测^[47]。

而应急物流的物资需求由于突发事件的不确定而变得不确定，突发事件的持续时间、强度大小、影响范围等等影响着应急物资的内容。在应急物流活动中，意料之外的变数可能会导致额外的物流需求，甚至使应急物流的主要任务和目标发生重大变化。这个特性决定了应急物流的需求分析不能直接运用规律性的预测模型，按部就班的进行于需求分析。

在应急物流活动中，唯一可以提供需求参考意见的就是历史资料——以往类似灾害的信息及当时的需求供应状况。因此，作为应急物流动态网络构建和协调中心的政府组织或者其他负责中心应该加强对于以往灾害救援信息的利用，以此为据估测本次突发公共事件的物资需求的变化规律，从而合理构建供应网络的规模，根据估测的需求规模使供应网络部分节点处于准备状态，或者根据需要构建若干个预备的供应网络，以应对突发事件不断变化的需求。

因此，本文基于事例推理原理，运用灰色关联度构建了即时需求估测方法，以期对应急救援物资的需求作出实时动态的把握和估测。

4.2.2 即时需求估测方法——事例推理

本文的即时需求估测方法主要依据事例推理的原理，将各种描述突发事件性质特征的指标作出结构化定量表示，通过灰色关联度的计算确定系统库中以往事件匹配程度，为本次突发公共事件寻找类似的先例，从而为物资需求的正确估计提供决策参考。

事例推理（Case Based Reasoning, CBR）^[21]是利用旧的事例或经验来解决问题、评价解决方案、解释异常情况或理解新情况。在 CBR 中，事例库模拟人的记忆，存储了一些过去的相关经验或事例，这些事例按一定的方式组织，回忆过程对应了 CBR 中从事例库中检索相关事例的过程。被检索出的候选事例可能与新的情形不完全一致，这时需

要对该候选事例的某些特征进行修改,以适应新的情况。修正后的事例要检验其是否适合实际情况;如果经检验不合实际情况的,还需要进行修正。同时,这次新的事例也要以一定的策略加入事例库中,为以后可能出现的突发公共事件服务^[50,51]。CBR 的推理过程如图所示。

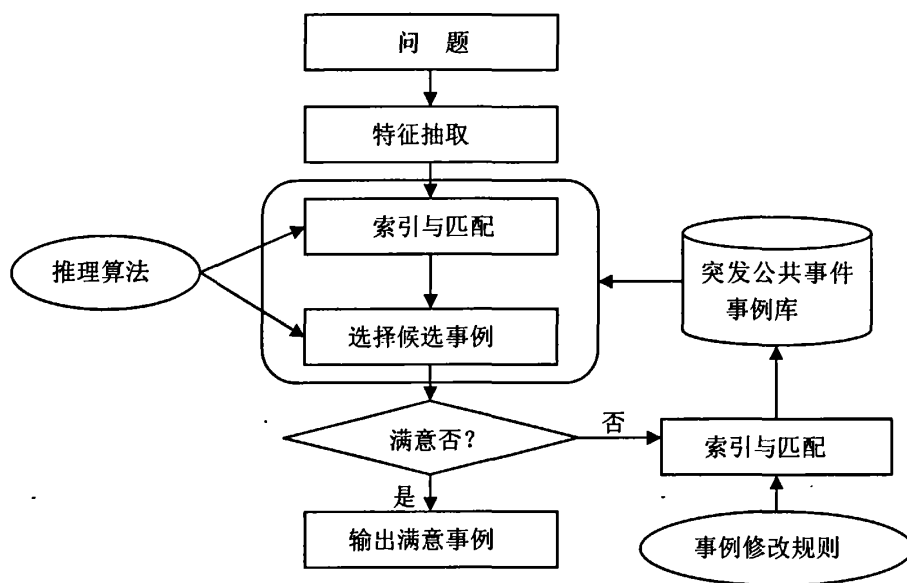


图 4.2 针对突发公共事件进行事例推理的流程

注: 资料来源于《物资敏捷动员的理论与方法研究》(北京理工大学博士学位论文 2006)

根据图 4.2 可将该次发生突发公共事件的物资需求的估测抽象为以下五个步骤:

Step1: 提取的本次突发公共事件 E 的特征属性

Step2: 在事例库中查找:

If 找到的与 E 相似的候选的突发事件集合 GE 非空, Then Goto Step3;

Else Goto Step4;

Step3: 计算 GE 中每一个候选突发事件与 E 的相似匹配值, 根据匹配值大小, 选择最佳的匹配突发事件:

If 匹配值=1, Then 确定该事例为可用的事例, 根据事例中处理突发事件物资需要的物资种类和数量, 确定本次突发事件的物资种类和数量;

Else 修改、调整物资的种类和数量, 使之符合 E 的要求。

Goto Step5;

Step4: 确定突发事件的物资需求, 使之符合 E 的要求。

Step5: 输出结果, 存储新的事例, 结束。

从以上突发事件物资需求的确定步骤可以看出, 整个物资需求确定过程主要包括四个方面: 突发公共事件的事例表示(Case Presentation)、突发公共事例匹配(CaseMatching)、事例修改(Case Modification)、物资需求的确定(MaterialRequirement Confirm)。

4.2.2.1 事例表示^[21]

事例以结构化的方式表达管理者和领域专家求解问题的经验, 将其变为计算机系统可以识别的信息。案例的表达遵循一定的规则, 形成规范的结构, 便于后面的检索与适配。一个典型的突发公共事件案例(Crisis ease)通常包含四个部分: 突发事件情景的描述(crisis situation)、应急行动程序性方案(emergency program)、调集资源的方案(resource dispathing)、方案实施结果与评价(outcome and evaluation)。

根据突发公共事件的特点, 把事例用五元组(五类一级指标)表示:

$$E=(TYP, SCE, PRO, RES, EVA)。$$

其中, TYP 表示突发性公共事件的类型, 形式为: $\{TY_1, TY_2, TY_3, \dots, TY_m\}$, 如地震、洪水、传染性疾病等类型。 SCE 表示事件的特征, 形式为: $\{SC_1, SC_2, SC_3, \dots, SC_n\}$, 如影响范围、危害程度、环境情况、事件要素等。 PRO 表示应急行动所采取的行动程序。 RES 表示应对突发事件需要资源, $RES=\{RE_T, RE_Q\}$, 其中 RE_T 表示资源的类型, 形式为: $\{R_1, R_2, R_3, \dots, R_i\}$, 如人力、交通工具、相关物资等, RE_Q 表示资源所需要的数量。 EVA 表示对方案的评价。按照这种属性结构, 一个事例由多个层次的属性构成, 整个事例库则由不同属性层次上的事例关联而成, 形成一个类似于关系型数据库的突发事件事例库。

4.2.2.2 事例的匹配

在基于事例的推理系统中, 事例的匹配是事例推理技术中关键的一步。根据问题的侧重性不同, 可以采用多种方法。结合突发事件案例的特点, 本文引入灰色关联度的概念, 通过事件相似性的计算进行匹配。步骤如下:

(1) 建立比较数列与本次事件标准数列

把事例表示中的各项属性转换成指标数列, 得到

$$\text{比较数列: } X_i = (x_i(k) \mid k = 1, 2, \dots, m \quad i = 1, 2, \dots, n) \quad (4.1)$$

$$\text{标准数列: } X_0 = (x_0(k) \mid k = 1, 2, \dots, m \quad i = 1, 2, \dots, n) \quad (4.2)$$

(2) 对数据作归一化处理

$$x_i'(k) = x_i(k) / x_0(k), \quad k = 1, 2, \dots, m \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.3)$$

(3) 计算关联度系数

$$\xi_i = \frac{\min_k \min_i |x_0'(k) - x_i'(k)| + \rho \max_k \max_i |x_0'(k) - x_i'(k)|}{\max_k |x_0'(k) - x_i'(k)| + \rho \max_k \max_i |x_0'(k) - x_i'(k)|} \quad (4.4)$$

式中 ρ 为分辨系数，一般取 0.5。

(4) 计算灰加权关联度

$$\eta = \sum_{k=1}^m \xi_i(k) \cdot \omega(k), i = 1, 2, \dots, n \quad (4.5)$$

式中 $\omega(k)$ 为第 k 个指标的权重，用来在选配事例时保证各项属性匹配的先后和重要程度，通常 TYP 的 ω 值是占主导地位的。

4.2.2.3 事例的修改

对候选事例的修改分两步进行，先确定新问题的要求和候选事例之间的不同，再以候选事例为起点进行修改，可以是对某一候选事例的修改，也可以是对多个候选事例进行重组和改进。总的来说，目前常用的事例修改方法有：基于知识的修改方法、运用类比的修改方法、基于模型的改写等。由于突发事件的复杂性，通常采用人机交互的修改机制^[21]。鉴于事例修改本身是一个很复杂的问题，需要各方面的配合，本文只是简单介绍这个方法及流程，其定量化的解决方案可以参考相关文献^[52]。

4.2.2.4 物资需求的确定

根据检索出的合适的突发公共事件案例中物资需求的种类 RE_T 即 R_k ，（ $1 \leq k \leq i$ ）及数量 RE_Q ，确定本次突发公共事件的物资供应，相应的快速构建应急物资网络。

在运用纵向的历史事例推理方法估测应急物资需求的同时，如果有其他地区先于本地区发生同样的公共事件，把自身状况与之进行横向分析和比较，可以借助其他区域估测结果。这种情况下同样也可利用灰色关联度的分析方法。

4.3 应急物流网络中救援物资的组织调度

在作出需求估测之后，就应该开始构建应急物流集货网络。与一般商业物流放射状发散网络布局相反，应急物流网络中救援物资由无数个供应点向一个或特定的几个需求点输送，形成了一个由外往内的聚集型网络。其在一定程度上与逆向物流（回收物流）的网络结构相似，但两者的物流性质截然不同，这注定了应急物流动态网络结构的独特性。

4.3.1 目前应急物流物资调度网络的方法及其局限性

当突发事故发生后，通常的应急反应思路是：让最近的出救点参与应急。而当大的灾难或事件发生时，仅一个出救点一般不能提供应急所需的大量物资，于是产生了多出救点的组合出救问题。之前的应急物流出救点组合普遍基于最短路的方法来设计，其问题可以表示为：

设 A_1, A_2, \dots, A_n 为 n 个应急物流中心， O 为应急地点，它们分布在网络的节点上， x 为应急物资需求量， A_i 的资源可供应量为 $x_i (>0)$ ， $i=1,2,\dots,n$ ，考虑路权参数，从 A_i 到 O 需要的时间为 $t_i (>0)$ ，要求给出一个方案，确定参与应急的物流中心及各自提供的应急资源数量，在保证应急资源需求的条件下，使应急开始时间最早，即 t_i 最小。有时也会适当考虑应急物流成本，而限制参与出救点的个数而求最佳组合方案。现有的绝大多数应急物资调度都是这类方法的衍生或改良，其量化的模型可参考^[18,19]。

根据该物资调度思路构成的应急物流网络如下：

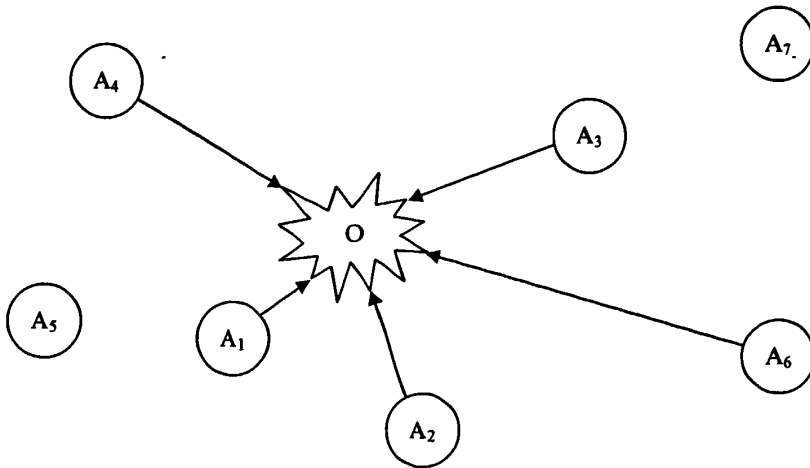


图 4.3 目前的应急物流出救网络

如图 4.3 所示，这种星形的网络结构通常能够在突发事件发生后立刻做出反应，应急开始时间早，非常适应物资需求量确定的事件，但是在突发公共事件物资救助中的缺点也非常明显：

(1) 首先，其基本思想是让物流中心都按路径距离转化的可应急时间先后参与救援，而当物资需求量很大时，所有的物流中心都有可能按时间顺序卷入到应急活动中来，应急物流活动容易陷入无组织、无政府状态，而造成抢救一窝蜂、物资分配一锅粥的应急紊乱情况，不利于救援物资的合理调配和使用。

(2) 出救点各自为战，不利于应急物流流量、流速、流向的控制，不能从战略高度

统一把握救援活动的进行，不是整体作战。

(3) 应急的持续性不强，没有形成应急物资流动一个通畅的、源源不断的渠道。遇到连续性消耗极强的大型突发公共事件，按照这种出救原则，救援力度只会越来越弱。而突发事件发生之后的后续物资需求是不可预计的，可能是始发的数倍甚至数十倍。

(4) 临近的出救点发挥作用不大。按该种思路，各个出救点完成了其本身拥有物资的输送任务之后就不起作用了，只是作壁上观。地利优势不能得到充分发挥，从一定程度上既浪费了时间又浪费了资源。

4.3.2 基于轴辐式结构的分阶段应急物资调度网络

针对 4.3.1 提出的四大问题，根据《国家突发公共事件总体应急预案》所提出的工作原则，本文提出了基于轴辐式网络的应急物资调度组织方法。在实际操作中，轴辐式应急物资调度动态网络构成分为三个阶段：

第一阶段：在突发公共事件发生后（如果事件可预知则应在预测到之后立即开始），启动应急物流功能，离事件发生地（受灾点）最近的应急配送站点（其为本次应急物流活动的实际出救点）立即投入救援，将现有可用物资向遇难点输送；同时其隶属的枢纽物流中心（其为本次应急物流活动的主枢纽点）立即开始对该出救点的物资补充输送；发生突发公共事件的整个规划区域内其他的配送站点（本次应急物流活动其不直接负责出救）则开始发挥就地集货功能，组织动员社会物资进行应急储备。

第二阶段：出救点继续对遇难点进行应急物资配送，与其相连的主枢纽点继续向其输送物资，而与主枢纽相连的配送站（即与实际出救点同一枢纽管制辖区的站点）则向主枢纽点输送所集物资；与此同时，根据应急需要，其他辖区的配送站继续加强社会物资动员，向他们所属的枢纽点输送，而其他枢纽点则负责整合收集到的物资，做好储备。

第三阶段：根据突发公共事件的发展势态，主枢纽点在保证前方供应的基础上按照实际需要加强后援，其他枢纽根据指示有序地向主枢纽集中输送物资。

其对应的网络结构及组织调度流程如图 4.4。

整个过程由与事件发生地最近的特定出救点负责配送任务；该出救点隶属的枢纽点为本次应急物流的主枢纽，负责第一时间的后援和物资的统筹安排，包括持续的物资聚集、整理、组合、保管、调配和输送，同时还应充当指挥中心；其他枢纽点负责其辖区的物资筹管和调配，是主枢纽点的后援；其他配送站点不直接执行出救任务，负责社会物资的动员筹集，保证物资供应。

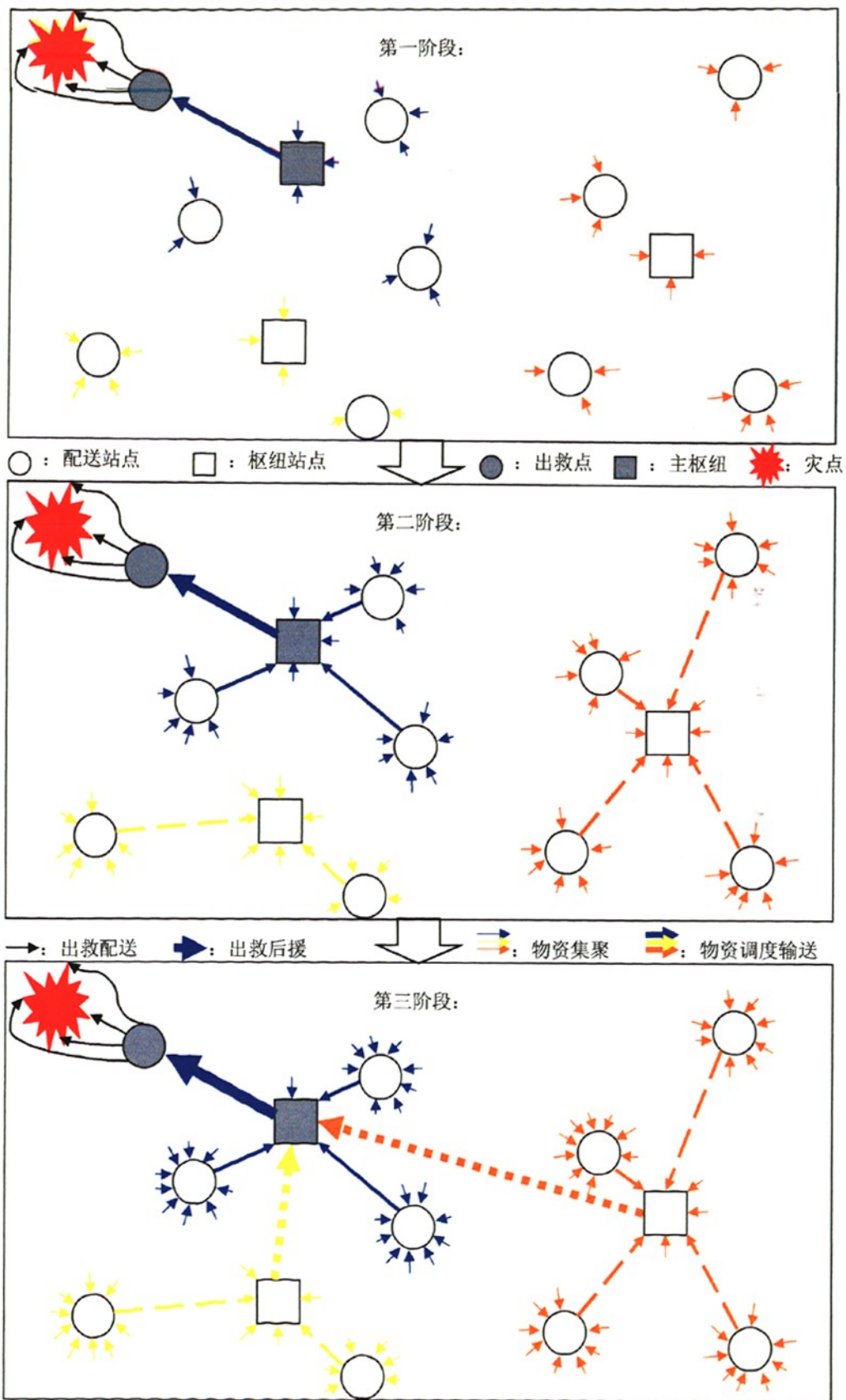


图 4.4 轴辐式应急物资调度动态网络构成流程

依据突发公共事件的级别,按照其性质、严重程度、可控性和影响范围等因素,在进行应急物流活动时审时度势,把握物资需求动态。如果突发事件是Ⅳ级(一般)且得到控制、对物资持续性要求不高,则可只启动应急物流物资调度网络的蓝色部分,即由主枢纽全面负责在辖区内筹集物资;如果遇到级别较高的(Ⅲ级(较大)、Ⅱ级(重大))突发公共事件,则还需相应的启动依靠其他枢纽集资的补充支援部分(如图中临近主枢纽的黄色部分);依次类推,当发生重大事件造成严重影响时,应全面启动该区域的整个应急物流网络,广泛动员社会力量的参与。当然,应急物资调度的网络范围没有硬性标准,应随着突发公共事件的发展势态而变,实事求是的进行指挥并作出前瞻性的考虑。

图 4.4 只是表述了突发公共事件的典型的基本救援流程。如果事发地点在几个枢纽的中间或临近事发地点有多个配送站点,则物资流向的组织方式可能会有所变动,如图 4.5 所示,由两个靠近事发地的出救点负责应急配送,三个枢纽点分别对两个出救点进行物资后援支持。但基本的调度原则是不变的,三个阶段的集货方法普遍适用。当需要规划的整个应急区域较大时,其物流动态网络的构建只是这些结构的重复、交叉及组合利用。

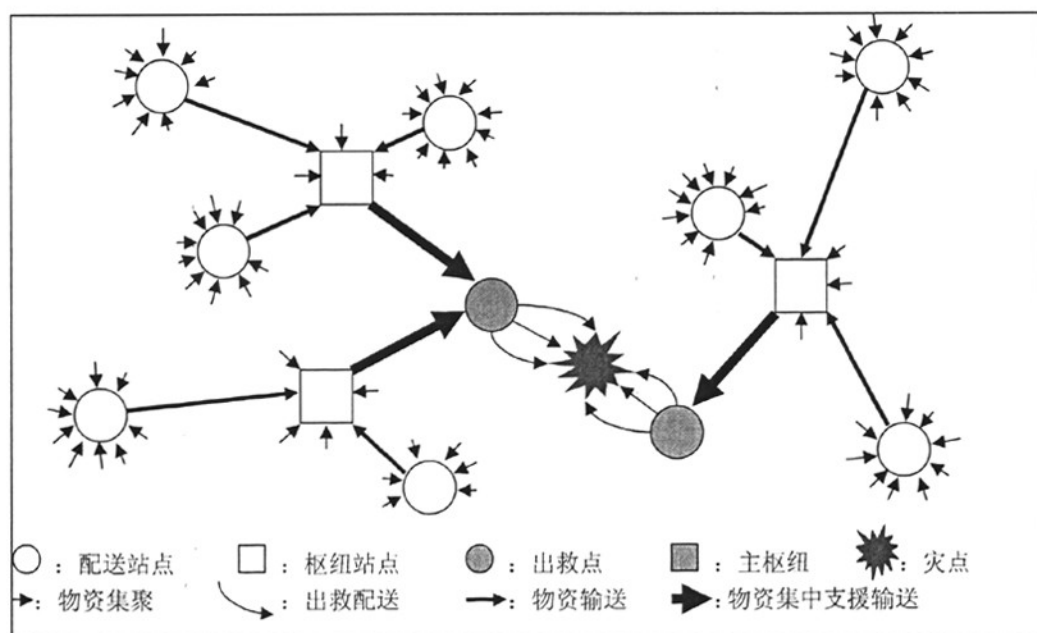


图 4.5 多出救点的物资调度配送网络

这样分级分层、广泛动员的集资网络,相当于为原来具有容量约束的最近出救点建造了一个无穷大的后援仓库,使得救援工作能持续不断的进行,在保证应急速度的前提下,使得物资调度集中管理、统一指挥,应急物流机构运转高效、反应迅速,救援活动

功能齐全、协调有序。在保障了应急物流的快速响应、有效救援、持续供应的前提下，因时制宜的机动方案很好的切合了突发公共事件的不确定性，使得应急物流也能灵活开展。

4.3.3 多准则应急物资调度网络线路分析

构建了宏观的动态网络之后，节点间的输送关系得已确定，接下来要充分考虑运输方式的选择和具体线路的安排。在应急物资调度的实际操作中，需要各种运输方式协调合作，形成联合运输。一般情况下，公路运输为救援主力载运工具；如果事件具有很强的持续性和较大的影响范围，大量的补充物资依靠铁路运输；在非常紧急事件中，关键物资运送依靠航空运输完成，遇到由于灾害使得地面交通瘫痪的情况，航空运输成为主力；水路运输由于速度较慢，一般仅作补充。本文针对主要运输手段公路运输的线路安排进行了研究，对连接节点的若干道路进行路距、路况分析，按照应急物流物资调度的多项原则选择最优线路。

应急物资调度的首要准则就是迅速及时，在满足时效要求的前提下，进行网络规划的主要目标还是降低成本，提高经济效能，避免“应急”浪费。另外，如果突发公共事件是自然灾害类型（如地震、洪水等），在物资调运中还要重点考虑通行道路的安全性，保证所选道路的通行率。时效性 T 、经济性 M 、安全性 S 指标的量纲都不相同，且时效性与经济性函数求得是最小值，而安全性函数求得是最大值。要建立多准则函数，首先要对其进行无量纲化处理，建立新的指标。根据决策优化理论中常用的方法^[40,47]，有：

$$T_i' = \frac{T_{\max} - T_i}{T_{\max} - T_{\min}}, i \in L \quad (4.6)$$

$$M_i' = \frac{M_{\max} - M_i}{M_{\max} - M_{\min}}, i \in L \quad (4.7)$$

$$S_i' = -\frac{S_{\max} - S_i}{S_{\max} - S_{\min}}, i \in L \quad (4.8)$$

式中， i 为各条组合通路， L 为各条通路的集合， T_i' 为时效指标， M_i' 为经济指标， S_i' 为安全指标。据此，建立多准则调度线路选择函数：

$$\max Z_i = \lambda_t \frac{T_{\max} - T_i}{T_{\max} - T_{\min}} + \lambda_m \frac{M_{\max} - M_i}{M_{\max} - M_{\min}} - \lambda_s \frac{S_{\max} - S_i}{S_{\max} - S_{\min}} \quad (4.9)$$

式中， λ_t 、 λ_m 、 λ_s 分别为时效、经济、安全决策权重，且 $0 \leq \lambda_t, \lambda_m, \lambda_s \leq 1$ ，其值由负责物资调运的指挥人员根据道路状况实时确定， λ_t 是体现应急物流响应速度的重要手段，在危害严重的突发公共事件中要相应的取较大值。而在一般公共卫生事件中 λ_s 取 0，即不考虑事件对运输安全的影响，在地震、洪水等存在地理破坏的自然灾害事件中 λ_s

则要重点考察。

4.4 带时效要求的多品种物资出救配送路径决策模型

4.4.1 应急物资出救配送问题描述

应急物资出救配送是应急物流动态网络的末端（其对应于图 4.4 中黑色箭头部分），这个任务由实际的出救点来完成。出救配送方案直接决定了出救路线、救援顺序以及对应的车辆安排。

首先必须满足时效要求，这是硬性目标。通常应急物流中的物资是食品、衣被、临时建材、医疗药品等，这类保障受灾人群生命安全的物资需求通常是非常紧急的，过了时间限制，应急救援的作用就会削减甚至丧失。因此，模型必须以保证救援物资的按时送达为前提。

在硬性时间约束的前提上，应急物流动态网络规划的目标是经济合理性。以往在进行应急物流活动时容易出现抢救“一窝蜂”的情况，是物资就送、是车就用，根本不考虑装载率、出车次数、合理线路等问题，造成了大量的应急浪费。因此，在模型中最大的弹性目标是经济性。

应急物资出救配送在现实中面对的问题可具体化为：6 时之前把救生设备 p1 送达受灾点 A，8 时之前要送达受灾点 B，12 时之前要把食品 p2、衣物 p3 送达避难点 C，……。模型要解决的就是在满足时效要求的前提下，使应急物流费用最小。

4.4.2 模型属类——VRPTD

根据上一节的分析可以看出，物资出救配送路径决策本质上就是一类车辆路径问题 (Vehicle Routing Problem, VRP)。VRP 的定义为：对一系列发货点或收货点，组织适当的行车路线，使车辆有序地通过它们，在满足一定的约束条件（如货物需求量、发送量、交发货时间、车辆容量限制、行驶里程限制、时间限制等）下，达到一定的目标（如路程最短、费用最小、时间尽量少、使用车辆尽量少等）。VRP 有多种类型，根据约束条件，本文研究的出救配送路径决策属于 VRPTD 问题，即“带最后时间期限的车辆路径问题” (Vehicle Routing Problem with Time Deadlines)^[57]。

另外，即使同一受灾点，救生用品、医疗用品与衣食用品的需求时限是不同的，因此，按照合理利用资源的原则，没有必要将同一受灾点的不同种类物资一次送达；而不同受灾点的不同类物资却有可能在相近的时间段内需求。因此，应允许车辆的多品种物资混装，这样就形成了本文研究的模型——多品种物资混装的 VRPTD。

4.4.3 多品种物资混装的 VRPTD 建模思路

要构建多品种物资混装的 VRPTD 模型，首先要解决两个问题：一是将多品种物资的配送进行分解，将其构造成标准的 VRPTD 问题，简化模型结构，便于求解；二是把最后时限约束加入到模型中去，将 Time Deadlines 量化表示。

4.4.3.1 多品种物资的分解

在应急物流中，一个避难需要多种物资，且不同种物资的时限要求不同，为了简化模型结构，本文在建造模型时将同一受灾点的多品种需求虚拟成多个点，即如果受灾点 A 有 m 种物资需求，则添加 $m-1$ 个虚拟点，把 A 点扩展为 A_1, A_2, \dots, A_m 个点，每个点仅有一种物资需求（见表 4.1 和表 4.2），而这些点之间的运距 d_{ij} 为零。经过虚拟处理之后，需要出救配送的原 k 个点就变成了 km 个，而多品种物资的配送问题就转变为了单一品种的配送问题。

表 4.1 原始需求

物资\受灾点	A	B	C
甲种	20	70	0
乙种	30	0	10
丙种	40	30	50



表 4.2 虚拟处理后需求

受灾点	A_1	A_2	A_3	B_1	B_2	C_1	C_2
物资需求	20	30	40	70	30	10	50

4.4.3.2 最后时限的函数构造

相对于 VRPTW 带时间窗的调度问题，带最后时限的 VRPTD 更符合应急物流出救配送的特征，而在构造函数时要简单得多。该问题的关键是把时间函数转化为费用成本函数，与经济性目标统一起来。如果违反了时限约束，则成本函数将趋于无穷大。因此，设 D_i 为 i 点要求的物资送达的最后期限， $M \rightarrow \infty$ 为足够大的正数，根据到达 i 点的实际时间 T_i 构造的函数如下：

$$\text{最后时限约束函数 } G(T_i) = \begin{cases} 0 & , T_i \leq D_i \\ M & , T_i > D_i \end{cases} \quad (4.10)$$

4.4.4 模型构建

4.4.4.1 基本假设

VRP 问题所包含的范围相当广泛，本文为确定研究的范围，结合应急物流路径决策实际，作如下基本假设：

- (1) 救援路网为完全网络且无方向性；

(2) 根据本文确定的应急物流动态网络的形成及其物资的集聚方式（详见 4.3 节），充当出救点的配送站的物资供给量无限制，不会产生缺货的现象；

(3) 由于广泛动员社会力量和运输企业的协同作业，出救点拥有充足的可调度使用的不同载重量的车，且不考虑配送车辆维修保养问题；

(4) 进行救援配送的每辆车的起始点、终点都为出救配送站点；

(5) 每个受灾点或避难点（含虚拟点）只能被访问一次，每辆车只能服务一条路线；

(6) 受灾点（避难点）及其配送路径集合已知，且与路径相关的时间转化权数、运输成本转化权数已知；

(7) 所有受灾点或避难点都有最后限期约束，但最后限期由受灾点依突发公共事件状况决定；

(8) 函数目标是使系统运作费用最小，最后时限约束整合于函数目标中。

4.4.4.2 参数定义

以 i, j 来表示各个点（包括虚拟点）， $i=0$ 的点为充当出救点的配送中心。

P —— 救援物资种类集合， $\forall p \in P = \{1, 2, \dots, m\}$ ；

V —— 所有车辆集合， $\forall v \in V = \{1, 2, \dots, n\}$ ；

K —— 受灾点、避难点集合， $K = \{1, 2, \dots, k\}$ ；

d_{ij} —— 点 i 到点 j 的距离；

α_{ij} —— 单位距离的经济性权数（运输成本）；

β_{ij} —— 单位距离的时效性权数（时耗系数）；

C_v —— 使用车辆 v 发生的固定成本；

Q_v —— 车辆 v 的最大装载容量；

T_i —— 到达 i 的实际时间 T_0 为从出救点出发的时间；

S_{ijv} —— 从点 i 行驶到 j 花费的时间， $S_{ijv} = \beta_{ij} \cdot d_{ij}$ ；

S_{iu} —— 在 i 点卸货的服务时间；

M —— 足够大的正数；

R_{ip} —— i 点对 p 种物资的需求量， $i=1,2,\dots,k$ ；

\Downarrow （多品种的分解）

$R_{i'}$ —— i' 点的需求量， $i'=1,2,\dots,k \cdot m$ ；

决策变量：

$$X_{ijv} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } v \text{ 从 } i \text{ 点行驶到 } j \text{ 点} \\ 0, & \text{车辆 } v \text{ 不从 } i \text{ 点行驶到 } j \text{ 点} \end{cases}$$

$$Y_{ipv} = \begin{cases} 1, & \text{点 } i \text{ 对 } p \text{ 种物资的需求由车辆 } v \text{ 负责} \\ 0, & \text{点 } i \text{ 对 } p \text{ 种物资的需求不由车辆 } v \text{ 负责} \end{cases} \quad i=1,2,\dots,k$$

↓ (多品种的分解)

$$Y_{i'v} = \begin{cases} 1, & \text{点 } i' \text{ 的需求由车辆 } v \text{ 负责;} \\ 0, & \text{点 } i' \text{ 的需求不由车辆 } v \text{ 负责。} \end{cases} \quad i'=1,2,\dots,k \cdot m$$

4.4.4.3 模型

目标函数:

$$\min Z = \sum_{i=0}^{k \cdot m} \sum_{j=0}^{k \cdot m} \sum_{v=1}^n \alpha_{ij} \cdot dij \cdot X_{ijv} + \sum_{v=1}^n C_v \quad (4.11)$$

约束条件:

$$\sum_{p=1}^m \sum_{i=1}^k Rip \cdot Y_{ipv} \leq Q_v, \quad \forall v \in V, \quad \forall p \in P; \Rightarrow \sum_{i=1}^{k \cdot m} Ri \cdot Y_{iv} \leq Q_v, \quad \forall v \in V; \quad (4.12)$$

$$\sum_{v=1}^n Y_{ipv} = 1, \quad \forall v \in V, \quad \forall p \in P, \quad i=1,2,\dots,k; \Rightarrow \sum_{v=1}^n Y_{iv} = 1, \quad \forall v \in V, \quad i=1,2,\dots,k \cdot m; \quad (4.13)$$

$$\sum_{i=0}^k X_{ijv} = Y_{jpv}, \quad \forall v \in V, \quad \forall p \in P, \quad j=0,1,2,\dots,k \Rightarrow \sum_{i=0}^{k \cdot m} X_{ijv} = Y_{jv}, \quad \forall v \in V, \quad j=0,1,2,\dots,k \cdot m; \quad (4.14)$$

$$\sum_{j=0}^k X_{ijv} = Y_{jpv}, \quad \forall v \in V, \quad \forall p \in P, \quad i=0,1,2,\dots,k \Rightarrow \sum_{j=0}^{k \cdot m} X_{ijv} = Y_{jv}, \quad \forall v \in V, \quad i=0,1,2,\dots,k \cdot m; \quad (4.15)$$

$$\exists X_{ijv} = 1: T_j = T_i + S_{iu} + S_{ijv} \Rightarrow T_j = X_{ijv} \cdot (T_i + S_{iu} + S_{ijv}), \quad i=0,1,\dots,k \cdot m, \quad j=1,2,\dots,k \cdot m, \quad i \neq j; \quad (4.16)$$

$$T_i \leq D_i \Rightarrow G(T_i) = \begin{cases} 0, & T_i \leq D_i \\ M, & T_i > D_i \end{cases} \quad (4.17)$$

目标函数是使得应急救援物资配送成本(总运输成本与车辆使用固定成本之和)最小化。在此,约束(4.12)是装载容量约束,保证了 v 车辆负责救援的各受灾点需求量之后不超过其最大容量;(4.13)确保每个需求点的每种物资由且只由一辆车负责配送;(4.14)

表示如果受灾点 j 的第 p 种物资确定由车辆 v 配送, 则车辆 v 必然由某个点到达点 j ; (4.15) 表示如果受灾点 i 的第 p 种物资确定由车辆 v 配送, 则车辆 v 送完 i 点的救援物资后必然到达另一个点; (4.16) 为送达时间表达式, 体现了受灾点 j 与被同车服务的上一个点之间的到达时间关系, $T_j \geq T_i$; (4.17) 最后时限约束, 保证了应急救援物资配送的时效性。

为了使模型的求解适应算法设计, 把直接的约束条件转化为惩罚函数形式, 整合嫁接到目标函数中, 有:

$$\min Z = \sum_{i=0}^{k \cdot m} \sum_{j=0}^{k \cdot m} \sum_{v=1}^n \alpha_{ij} \cdot d_{ij} \cdot X_{ijv} + \sum_{v=1}^n C_v + M \cdot \max \left(\sum_{i=1}^{k \cdot m} R_i \cdot Y_{iv} - Q_v, 0 \right) + M \cdot \max (T_i - D_i, 0) \quad (4.18)$$

4.5 应急物流网络路径决策模型的解法设计

20 世纪 60 年代, 美国 J.H. Holland 教授和他的学生从生物遗传学“物竞天择, 适者生存”的自然规律中得到灵感和启迪, 创立了基于自然选择的编程技术——遗传算法 (Genetic Algorithms)。它是一种自适应随机搜索方法, 具备优良的鲁棒性和潜在的并行计算机制, 能够以很大的概率找到问题的全局最优解^[10]。它对优化对象既不要求连续, 也不要求可微, 特别适合于非线性的组合优化问题, 能有效快速地求解多模型、多目标函数的最优解, 其在模式识别、神经网络、图像处理、机器学习、工业优化控制、自适应控制、生物科学、社会科学等领域都得到了应用^[60,61]。本文也是运用基本遗传算法(SGA)对 VRPTD 模型进行求解。

4.5.1 遗传算法设计

遗传算法从创造初始种群并评估种群中每一个染色体开始, 通过选择、交叉及变异后评估等过程简单循环进行再制。该算法的过程包括编码与译码、初始化群体、适应度函数、复制、交叉和变异等要素。

4.5.1.1 设计染色体结构^[10]

由于遗传算法不能直接处理空间数据, 首先必须将解空间以编码方式表示出来。经编码后的解在自然界中称为染色体, 在遗传算法中为字串, 问题的解转换成遗传空间的基因型串结构数据。设计染色体结构就是确定染色体的编码方式和编码长度。车辆路径决策问题宜采用自然数编码, 用“0”表示出救点, “1, 2, ..., k”表示受灾点集合。如染色体“01203450670”表示车辆指派和线路选择方案为三辆车从出救点出发, 给 7 个受灾点或避难点运送救援物资, 其中:

第一辆车路径：出救点→受灾点 1→受灾点 2→出救点；

第二辆车路径：出救点→避难点 3→受灾点 4→避难点 5→出救点；

第三辆车路径：出救点→受灾点 6→受灾点 7→出救点。

染色体长度 = 车辆总数 + 受灾点数 + 1。

4.5.1.2 确定遗传控制参数

遗传算法中参数的设定对算法的效果影响很大，有效的参数选取不仅能使算法快速收敛，而且使算法全局收敛。通常的参数包括：种群规模 N 、交叉概率 P_c 、变异概率 P_m 以及设定计算终止条件。

种群规模 N 即为实现群体搜索每一代中解的个数，一般取 20~50；交叉概率 P_c 为各代中交叉产生的后代数占种群个体数的比例，保证了搜索空间的扩张，一般取 0.5~1； P_m 为变异基因数占总基因数的比例，取值范围在 0~0.05 之间。

为了要结束遗传算法的演化循环，必须预先设定停止规则，当遗传算法满足一定条件时终止演化循环。通常有^[62]：(1)达到最大失败次数，指无法达到更优解的迭代次数；(2)母体内染色体已达到预先设定的水准。如最好和最差的染色体适应度的差异在预先设定的范围内、非常多的染色体在相同位置上的值完全一样；(3)达到预先设定的目标；(4)达到所设定的最大演化世代数。

4.5.1.3 生成初始群体

遗传算法是一种群体型搜索方法，必须为遗传操作准备好 N 个个体组成的初始群体，每个个体代表问题的一个解。因此，初始群体是“进化”计算开始时的群体，是初始解集合。通常用随机法生成初始群体。为提高算法收敛速度，可按下述步骤产初始群体^[10]：

Step1: 随机给应急物资需求点（受灾点）排序。

Step2: 从左向右计算，若第一辆车装载容量大于前 k 个受灾点的需求量之和，且小于前 $k+1$ 个受灾点需求量之和，则得到第一辆车负责配送的物资需求点子串 1：“1 2 ... k ”；

Step3: 删去排序中的前 k 个救灾物资需求点，同样方法计算确定第二辆车负责的物资需求点子串 2：“ $k+1$ $k+2$... l ”。如此反复，直到所有车辆和受灾点被安排完。

Step4: 两子串间插入 0 后把所有子串连接，再首尾加 0 就可以得到一条初始染色体。

Step5: 重新给救灾物资需求点随机排序，按照相同步骤可以得到另一条染色体。反复计算操作，直到染色体条数等于群体规模 N 时为止。

4.5.1.4 适应度评价

遗传算法在搜索过程中,一般依据染色体的适应度大小来评定染色体的优劣,把染色体译码到原问题空间进行评价。对于应急物流路径决策问题,适应度大的染色体对应着配送路径成本之和小的运输线路选择方案。适应度由适应度函数进行计算,而适应度函数由目标函数转化得到:

$$f_h = \frac{Z_{\min}}{Z_h} \quad (4.19)$$

式中, f_h 表示染色体 h 的适应度函数, Z_{\min} 表示同代群体中最佳染色体的配送成本, Z_h 表示染色体 h 的配送成本。

而目标函数中变量值 X_{ijv} 、 Y_{iv} 、 T_i 的值根据每一条染色体的编码选取计算确定。

4.5.1.5 进行遗传操作: 选择、交叉、变异

(1) 选择算子

选择也称复制或繁殖,其模仿“优胜劣汰,适者生存”的自然法则,从当前种群中选择优质个体进行复制,繁殖下一代群体。染色体适应度越大,染色体被复制概率就越大。这样,使种群的平均适应度 \bar{f} 得到提高。

本文采用保留最优染色体和轮盘赌法结合的方法设计选择算子,步骤如下:

Step1: 计算每条染色体的适应度 f_h , $h = 1, 2, \dots, n$;

Step2: 按适应度大小给 N 条染色体排序,选择适应度最大的染色体,将其作为下一代群体中第一个染色体;

Step3: 计算染色体选择概率 w_h : $w_h = \frac{f_h}{\sum_{i=1}^n f_i}$; (4.20)

Step4: 计算染色体累计概率 u_k : $u_k = \sum_{i=1}^k w_i$, $k = 1, 2, \dots, n$; (4.21)

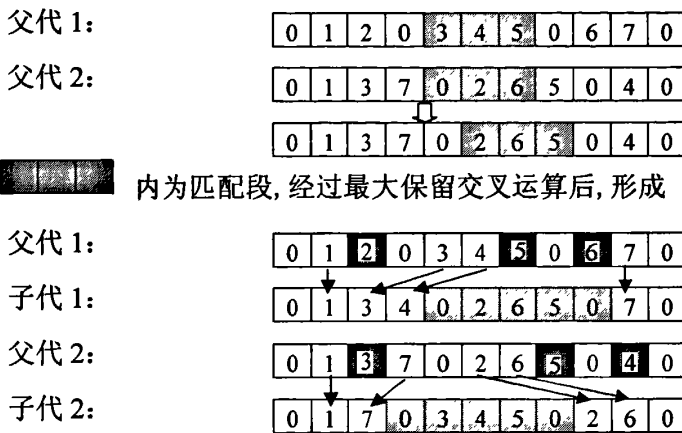
Step5: 在 $[0, 1]$ 区间内产生均匀分布随机数 r , 若 $r \leq u_1$, 则选择父代群体中第一条染色体, 否则复制第 k 条染色体, 使得 $u_{k-1} < r \leq u_k$ 成立 ($k=2, \dots, n$)。

如此反复操作产生新的染色体,直到符合群体规模为止。这样的方法,保留了每一代群体中适应度最大的最佳染色体,适应度越高的染色体被选择进入下一代的可能性越高,而适应度低的染色体也有被选的可能,维持了个体的多样性。

(2) 交叉算子

交叉算子是用双亲基因生成新染色体，体现两性繁殖生物进化原理。交叉过程分两步进行：一是对父代群体中染色体进行随机配对，二是配对的双亲染色体进行基因交叉重组，交换基因信息，生成一个子代染色体。交叉运算以一定概率发生，这个概率即为交叉率 P_c 。

对于应急物流网络配送路径问题，染色体的子路径间无序、子路径内有序，如果使用以往的一些交叉算子，将很难保持父代的优良特性，甚至得到大量的不可行解。因此，为保留双亲优良基因组合，构造特殊的交叉算子——最大保留交叉^[59,60]。其操作过程为：如果染色体交叉点处的两个基因都为 0，则直接用 OX 交叉原则（基于序的交叉原则）进行运算；如果染色体交叉点处的基因不全为 0，则将交叉点左移（右移），直到左右两个交叉点处的基因都为 0，再用 OX 进行运算^[59]。如：



Step1: 在待交叉的染色体群中，任意选取一个染色体；

Step2: 产生一个 $[0, 1]$ 之间随机数 r ，若 $r \leq P_c$ ，则为这条染色体进行随机配对；若 $r > P_c$ ，把该染色体从待交叉集中删除，然后转第一步；

Step3: 按最大保留交叉进行交叉组合操作，得到两个新的子代染色体；

Step4: 将这两个新染色体的父代染色体从待交叉染色体群中删去。

(3) 变异算子

变异算子模仿自然界中基因突变现象，并按照一定概率（变异率 P_m ）发生，以改变染色体的基因链，挖掘染色体个体中基因组合的多样性。交换变异算子是一种局部寻优技术，本质上是对可行解的路径进行交换，以改进车辆行驶线路。由于描述出救路径决策方案的染色体有多个 0 存在，普通交叉变异算子也不适合运输线路选择问题，需要构造基于位的特殊的交换变异算子。如对染色体“01203450670”，确定基因“5”和基因“6”交换，则交换位置后得到新染色体“01203460570”。变异具体步骤如下：

Step1: 产生一个 $[0, 1]$ 之间随机数 r ;

Step2: 若 $r \leq P_m$, 任意选取一条染色体, 在该染色体上任意选取两个非零基因;
若 $r > P_c$, 直接进入下一个;

Step3: 将选取得两个非零基因位置互换, 构成一条新的染色体。

4.5.1.6 遗传评价

由于交叉、变异操作不一定能产生更优的染色体。因此, 为了保证收敛速度, 确保优良基因得到遗传, 应进行必要的遗传评价。

计算每条染色体交叉后及变异后的适应值, 并与交叉前相比, 选择适应值最大者进入下一代种群。

4.5.2 算法流程和步骤

使用遗传算法求解路径决策模型流程图如图 4.6, 其具体步骤如下:

Step1: 使用自然数编码方式, 构造表示可行行车线路的染色体;

Step2: 设置控制参数(交叉率 P_c , 变异率 P_m 和群体规模 N);

Step3: $Gen=0$, 代入可行的初始群体 $P(0)$, 群体中包括 N 个染色体, 每个染色体表示一条行车线路;

Step4: $i=1$;

Step5: 将群体 $P(Gen)$ 中的第 i 个染色体译码到原问题空间, 计算其染色体的适应度 f_i ;

Step6: $i=i+1$;

Step7: 若 $i \leq N$, 转 Step5; 否则转 Step8;

Step8: 将 N 条染色体按适应度 f_i 值从大到小排列, 即第一条染色体的 f_1 值最大,
存储该染色体进入下一代种群 $P(Gen+1)$;

Step9: 若满足终止条件(最佳染色体保持 20 代或 $\bar{f} \geq 0.9 f_{\max}$), 则终止; 否则,
转 Step10。

Step10: 计算染色体选择概率 w_h ;

Step11: 计算染色体累计概率 u_k ;

Step12: $i=1$;

Step13: 产生一个随机数 $r \in [0, 1]$;

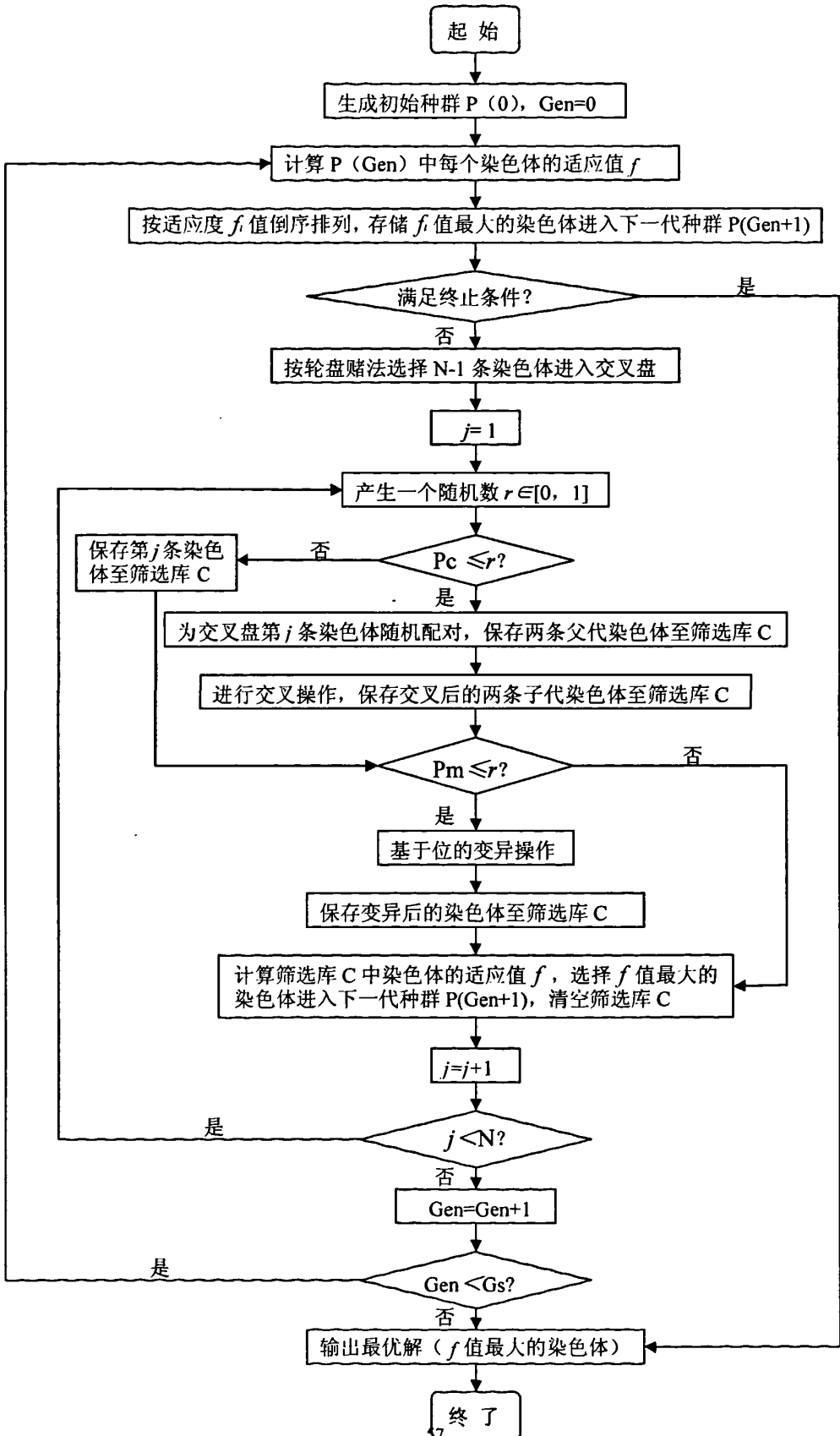


图 4.6 遗传算法求解路径决策模型流程图

Step14: 若 $r \leq u_i$, 选择父代群体中第一条染色体进入交叉盘, $i=i+1$, 转 Step16;
 否则, 转 Step15;

Step15: 找出 $u_{k-1} < r < u_k$, 选择第 k 条染色体进入交叉盘, $i=i+1$, 转 Step16;

Step16: 若 $i < N$, 转 Step13; 否则, 转 Step17;

Step17: $j=1$

Step18: 产生一个随机数 $r \in [0, 1]$;

Step19: 若 $P_c \leq r$, 在交叉盘中, 随机抽取一条染色体与 j 条染色体配对作为交叉父代, 储存该两条染色体至筛选库, 转 Step20; 否则, 存储 j 条染色体至筛选库, 转 Step21;

Step20: 进行最大保留交叉产生后代, 储存新的两条子代染色体至筛选库 C;

Step21: 产生一个随机数 $r \in [0, 1]$;

Step22: 若 $P_m \leq r$, 抽取其中一条子代染色体, 在该染色体上任意选取两个非零基因, 转 Step23; 否则, 转 Step24;

Step23: 将这两个基因互换位置, 得到一条新的变异了的染色体, 储存至筛选库 C;

Step24: 计算筛选库 C 中染色体的适应值 f , 选择 f 值最大的染色体进入下一代种群 $P(\text{Gen}+1)$, 清空筛选库;

Step25: 若 $j < N$, $j=j+1$, 转 Step18; 否则, 清空交叉盘, 转 Step26;

Step26: $\text{Gen}=\text{Gen}+1$;

Step27: 若 $\text{Gen} < G_s$ (最大演化代数), 则转 Step4; 否则终止程序。

4.6 模拟算例

某地发生地震, 启动应急物流系统, 确定某个配送站点作为出救点, 完成 8 个受灾点的三种物资救援配送任务。由出救点与受灾点的路距转化的费用矩阵和时耗矩阵如表 4.3、4.4 所示; 物资需求及其最后时限、卸货时间也已给出, 如表 4.5、表 4.6、表 4.7 所示; 车辆装载最大容量为 200 个单位体积, 出车成本为 100, 要求救援配送安排车辆和选择救援路线, 使得在满足各受灾点最后时限要求下救援成本最低。

按照解法要求整理的配送参数数据表详见附件 I, 遗传算法实现的 C#程序源代码见附件 II。

车辆容积为 200 个单位体积, 应急物资总需求量为 830 个单位体积, 确定派车 5 辆。染色体长度 $20+5+1=26$, 取群体规模 $N=20$, 交叉率 $P_c=0.8$, 变异率 $P_m=0.001$, $M=99999$ 。算法终止条件设定为满足以下任何一项: (1)遗传演化代数达到 1000 代, 即 $G_s=1000$;

表 4.3 节点间根据路距转化的费用矩阵

节点	A	B	C	D	E	F	G	H
O	40	39	11	65	47	84	26	53
A		25	38	22	51	44	30	49
B			64	41	30	27	75	13
C				36	82	50	67	18
D					23	58	94	39
E						72	54	45
F							18	66
G								51

表 4.4 节点间根据路距转化的时耗矩阵 (h)

节点	A	B	C	D	E	F	G	H
O	1.3	3	0.4	2	0.8	1.5	1.2	2
A		1.6	2.1	1.2	1.3	2.6	1.2	2.4
B			0.7	1	1.3	1.5	2.5	1.1
C				1	2.7	1.4	2.3	0.5
D					2.5	1.7	0.8	1.2
E						1.5	2	2.2
F							0.6	1
G								2.1

表 4.5 应急物资需求量

物资种类/受灾点	A	B	C	D	E	F	G	H
医疗品(I)	50	10	—	60	20	30	—	30
食物(II)	70	—	30	80	50	20	40	40
临时建材(III)	60	50	20	80	40	—	30	20
总计	830 个单位体积							

表 4.6 物资送达最后时限

物资种类/受灾点	A	B	C	D	E	F	G	H
医疗品(I)	10:00	12:00	—	11:00	10:00	9:00	—	9:00
食物(II)	16:00	—	14:00	11:00	12:00	11:00	13:00	15:00
临时建材(III)	18:00	15:00	18:00	16:00	12:00	—	17:00	15:00

表 4.7 卸货服务时间 (min)

物资种类/受灾点	A	B	C	D	E	F	G	H
医疗品(I)	25	5	—	30	10	15	—	15
食物(II)	35	—	15	40	25	10	20	20
临时建材(III)	30	25	10	40	20	—	15	10

(2)最佳染色体连续保持 20 代;(3)某代染色体的平均适应度 \bar{f} 达到这一代最佳染色体的 0.9。

运算结果:

最佳染色体为 0-6-7-18-19-20-0-8-9-4-5-0-1-2-3-0-11-12-13-10-0-14-15-16-17-0

应急物资的救援配送路径决策具体安排如表 4.8。

表 4.8 多品种物资配送的路径决策结果

车辆	装载量	配送停靠站点顺序	实际配送线路	发车、停靠、收车时间	惩罚成本	救援成本
1	140	7,6,18,20,19	O—C(III)\C(II)—H(I)\H(III)\H(II)—O	7:00-7:24-8:55-11:40	0	182
2	200	9,8,4,5	O—D(II)\D(I)—B(I)\B(III)—O	7:00-9:00-11:10-14:40	0	245
3	180	2,3,1	O—A(II)\A(III)\A(I)—O	7:00-8:18-11:06	0	180
4	190	12,11,13,10	O—E(II)\E(I)\E(III)—D(III)—O	7:00-7:48-11:13-13:53	0	235
5	120	14,15,16,17	O—F(I)\F(II)—G(II)\G(III)—O	7:00-8:30-9:31-11:18	0	228
合计	830	—	—	—	0	1070

由于目前应急物流缺乏相应的数据进行实际的运算,本文为了验证模型的有效性和算法的可行性构造了上述算例,可以看出该算例的车辆容量约束较松,平均车载率为

83%，因此求得了较为理想的解。由此也可以看出，在运输设备充足的情况下，满足时效要求之后，为了缩短总行驶里程，节约应急配送成本，原则上应尽量使同一点的不同需求由一辆车（或车队）负责满足。

多品种的 VRPTD 问题尚无最优解作为参考，因此不能确定本例得到的解为全局最优解，但至少可以肯定它是全局满意解，其严格按照时限要求进行了救援配送，惩罚成本为零，较好的解决了应急配送路径决策问题。

4.7 本章小结

本章首先明确了应急物流网络路径决策问题的实质和研究范围，提出了动态网络的概念及基于即时需求估测——物资调集网络构建——配送路径决策三个阶段的规划流程。

针对应急物流产生机理与普通商业物流的不同，引入了基于事例推理的即时需求估测模型，为救援物资的需求决策提供辅助。根据第三章建设的轴辐式网络结构，本章创建了分阶段、分层次、带枢纽的应急物资调度动态网络，设计利用离事发地最近的站点进行救援以保证应急速度，通过枢纽点的强大物流功能保障物资的广泛筹集和持续供应，为解决这个两难问题创新了思路。最后，在把握应急物流特点的基础上，构造了有最后期限的多品种物资救援配送模型（VRPTD），并设计了遗传算法求解模型，通过实例进行分析，验证了模型的现实拟合性和解法的有效性。

结 论

主要结论

本文从系统的观点出发,创新地将应急物流活动融入到应急物流网络规划中来研究,按照应急物流特性和规划任务,首次明确地划分了静态网络与动态网络,从平时和灾时两方面入手实现应急物资保障、降低应急成本,主要得出了以下研究结论:

(1) 由于目前国内对于应急物流的研究普遍带有局部性、片面性,本文提出了依托应急物流网络来保障应急物流顺利开展的思路,对于构建完整的应急物流系统具有重大意义,指出了应急物流网络运作逆向、结构复杂、高度参与、信息先导的特性,并明确了规划的目标、原则、内容和程序。

(2) 根据应急物流的特性以及应急物流网络的组成要素构建了带有枢纽的“轴辐式”静态网络,该双层网络结构符合“统一领导,分级负责”的政府物流行为,更满足了突发性公共事件物资需求量大、供应持续性的要求。

(3) 在落实“轴辐式”特殊结构的过程中,划分了“应急物流小区”以规划应急责任区域,保证了应急保障的覆盖率和响应速度;针对各小区不同的现实条件,建立了两种模型来选择基础的配送站点,给出了符合应急特性的比选指标体系,为应急物流选址规划制定了依据;在枢纽点的选择问题上构造了基于 p -中值的枢纽定位模型(UHLP),采取定性和定量结合的方法进行了分析求解。

(4) 在规划应急物流动态网络之前引入了“应急即时需求估测模型”,指出了需求估测与需求预测的不同,基于事例推理(CBR)原理对于突发性的物流需求作出种类、数量、持续性、派生性等的估计,对于应急物流的操作具有现实意义。

(5) 本文创造性地提出了应急物资调度组织的新方法,依据分阶段、分层次、带枢纽、带归属的思路构建了分工明确的应急物流动态网络,并提出了根据突发公共事件的势态发展确定的三阶段启动模式,较好地解决了救援迅速及时与物资广泛筹集持续供应这个两难问题。

(6) 应急物流通常是对几类固定物资的同时需求,且救援工作必须迅速及时,超过时限直接导致物资救援的无效。因此,本文构造了带最后限期的多品种物资救援路径决策模型,较好的拟合了应急物流实际,并设计了基本遗传算法(SGA)对模型进行了求解。

有待研究改进问题

应急物流系统的研究是一个重大的课题,本文研究的应急物流网络规划具有一定的

理论和实用价值,但是其涉及的内容十分广泛和复杂,需要进一步的改进和深入的研究,主要体现在:

(1) 在应急物流小区内没有可用站点的情况下,为基础配送站点选址采用了单源连续选址模型,忽略了自然条件和社会经济因素,如可能被选地处于湖泊位置或者已有建筑物等。因此需要对此方法进行调整,可以以某块区域代替具体点。

(2) 在构建应急物流动态网络的过程中,没有将一些自然灾害可能造成的运输线路瘫痪量化到路径决策模型中。对于应急物资调度网络只是做了结构化的定性分析,给出了多准则调度线路选择函数,并没有形成完整的运用模型,这是本文研究需要深入拓展的主要方向。

(3) 构造了多品种 VRPTD 模型之后,为了求解模型,对于多品种问题的转化思路过于简单,当受灾点和需求品种增加较多时转化后的计算量剧增,这一点需要进一步改良。而本文仅设计了基本的遗传算法(SGA),今后应尝试探索收敛更加有效的改进遗传算法,如(HGA)、(mGA)等来求解 VRPTD 问题。

(4) 应急物资的库存控制这块内容没有纳入研究。由于时间有限,也没有进行相应的应急物流网络规划软件系统的开发,因此成果的运用需要后续的研究。

参考文献

- [1] 国务院. 国家突发公共事件总体应急预案[Z]. 2006.1.8
- [2] 欧忠文, 王会云等. 应急物流[J]. 重庆大学学报, 2004.3
- [3] 谢如鹤, 宗岩. 论我国应急物流体系的建立[J]. 广州大学学报 2005.11
- [4] 黄洪涛. 应急物流系统研究[D]. 大连海事大学硕士学位论文, 2006.3
- [5] 谢如鹤, 邱祝强. 论应急物流体系的构建及其运作管理[J]. 物流技术, 2005.10
- [6] 王国文. 中国物流将如何应急[J]. 中国物流与采购, 2003.23
- [7] 王继祥. 非典型物流——突发事件冲击下的中国物流[J]. Logistics & Material Planning 焦点报道, 2003.6
- [8] 雷玲. 应急物流初探[J]. 统计与决策, 2004.6
- [9] 曾文琦. 对应急物流系统特点的再认识[J]. 中国西部科技, 2004.10
- [10] 龚延成. 战时军事物流系统决策理论与方法研究[D]. 长安大学博士学位论文, 2004
- [11] 张文亮. 军事物流的七个特殊性[J]. 中国物流与采购, 2004.4
- [12] 马宏伟, 李庆全. 论军事物流之特色[J]. 物流科技, 2001.3
- [13] 王旭坪, 傅克俊, 胡祥培. 应急物流系统及其快速反应机制研究[J]. 中国软科学, 2005.6
- [14] Linet Ozdamar, Ediz Ekinici, Beste Kucukyazici. The Dynamics of Emergency Transshipment Supply Chains[G]. Annals of Operations Research 129, 217–245, 2004. Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands.
- [15] Takeo Yamada. A network flow approach to a city emergency evacuation planning[J]. International Journal of Systems Science, 1996, 27(10):931-936
- [16] 高东椰, 刘新华. 浅论应急物流[J]. 中国物流与采购, 2003,(23)
- [17] 邓伟, 王卫国. 政府职能在应急物流组织指挥中应发挥的作用[J]. 中国物流与采购, 2003,(23)
- [18] 刘春林, 何建敏, 施建军. 一类应急物资调度的优化模型研究[J]. 中国管理科学, 2001.6
- [19] 刘春林, 盛昭翰, 何建敏. 基于连续消耗应急系统的多出救点选择问题[J]. 管理工程学报, 1999.13 (3)

- [20] 刘海军, 龚卫锋. 应急物流交通运输保障[J]. 中国物流与采购, 2003(23)
- [21] 李连宏. 物资敏捷动员的理论与方法研究[D]. 北京理工大学博士学位论文, 2006.7
- [22] 姜玉宏, 邱清和, 欧忠文. 应急物流中心的构建思路[J]. 综合运输. 2004.9
- [23] 李云清. 物流系统规划[M]. 上海: 同济大学出版社, 2004.8
- [24] 何明珂. 应急物流的成本损失无处不在[J]. 中国物流与采购, 2003(23)
- [25] 徐杰, 鞠颂东. 物流网络的内涵分析[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2005.6
- [26] 余福茂. 关于物流系统规划若干关键技术的研究[D]. 浙江大学博士学位论文, 2003.11
- [27] 陶善超. 逆向物流的网络规划[D]. 华中科技大学硕士学位论文, 2005.10
- [28] 方传伟. 供应链环境下的物流网络规划研究[D]. 南京理工大学硕士学位论文, 2004
- [29] 张晓川等. 物流学——系统、网络和物流链[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.2
- [30] 杨家其. 现代物流与运输[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.4
- [31] 高自友, 孙会君. 现代物流与交通运输系统——模型与方法[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.8
- [32] 胡华. 基于 SCM 的连锁企业物流配送中心规划方法研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2006.2
- [33] 蒋树森. 电子商务下物流配送中心规划方法研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2005.3
- [34] 王健. 海峡西岸经济区物流网络系统的构建[D]. 福州大学硕士学位论文, 2004.12
- [35] 欧忠文, 李科等. 应急物流保障机制研究[J]. 物流技术, 2005.9
- [36] 董文洪. 关于建立物流网络可用性测度指标体系的研究[J]. 数学的实践与认识, 2006.6
- [37] 肖剑. 基于遗传算法的物流中心选址模型及算法研究[D]. 重庆大学硕士学位论文, 2005
- [38] 张世翔. 基于轴辐式网络模型的城市群物流配送系统规划研究[D]. 同济大学博士学位论文, 2006.8
- [39] 施晓岚. 交通运输系统布局规划混合模型探讨. 西部公路学会 2006 年学术年会

论文集. 2006.7

- [40] 张锦. L-OD 预测理论与现代物流规划方法研究[D]. 西南交通大学博士学位论文, 2004
- [41] 杜敏. 企业销售物流配送系统规划方法研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2003
- [42] 赵卫艳. 市域物流配送网络规划方法研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2003
- [43] 苏金明, 阮沈勇. MATLAB6.1 实用指南(下册)[M]. 北京:电子工业出版社, 2002
- [44] 施晓岚, 许宗楨, 郭晓汾. 物流配送中的枢纽设施点定位模型之初探[J]. 物流科技, 2006.12
- [45] Andreas Klose, Andreas Drexl. facility location models for distribution system design, *European Journal of Operational Research* 162(2005)4-29 (<http://www.elsevier.com/locate/dsw>)
- [46] 王月玲. 物流配送中心选址策略研究[D]. 大连海事大学硕士学位论文, 2005.3
- [47] 孙焰. 现代物流管理技术—建模理论及算法设计[M]. 上海:同济大学出版社, 2004
- [48] 郭晓汾. 交通运输工程学[M]. 北京:人民交通出版社, 2005.1
- [49] 宋华, 胡左浩. 现代物流与供应链管理[M]. 北京:经济管理出版社, 2000
- [50] Kolodner J. Maintaining organization in a dynamic long-term memory [J]. *Cognitive Science*, 1983; 7(4), 243-280.
- [51] Simpson R L. A computer model of case-based reasoning in problem solving: An investigation in the domain of dispute mediation. Technical Report GIT-ICS-85/18, Georgia Institute of Technology, 1985.
- [52] 魏元凤, 骆洪青等. 属性相似案例的检索模型比较研究[J]. 华东船舶工业学院学报, 1999, 14(3)
- [53] 郭晓汾, 徐双应等. 基于灰加权关联度的公路主枢纽站场布局决策方法[J]. 中国公路学报, 1997.9
- [54] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 2002
- [55] 胡志华. 区域物流系统中存储和运输子系统的优化研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2005.3
- [56] 郭耀煌, 李军. 车辆优化调度问题的研究现状评述[J]. 西南交通大学, 1995.8
- [57] 刘云忠, 宣慧玉. 车辆路径问题的模型及算法研究综述[J]. 管理工程学报, 2005.1

- [58] 崔震宇. 物流智能配送系统集成一体化研究[D]. 长沙理工大学硕士学位论文, 2005.3
- [59] 谢秉磊, 李军, 郭耀煌. 有时间窗的非满载车辆调度问题的遗传算法[J]. 系统工程学报, 2000.9
- [60] 玄光南[日], 程润伟. 遗传算法与工业设计[M]. 北京: 科学出版社, 2000.1
- [61] 徐丽娜. 神经网络控制[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.2
- [62] 骆义. 物流配送车辆调度优化研究[D]. 大连海事大学硕士学位论文, 2003.2
- [63] 曹亮. 用多种群自适应混合遗传算法求解车辆路径问题[D]. 中山大学硕士学位论文, 2004
- [64] 施燕妹, 陈培等. C#语言程序设计教程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004
- [65] Mark Schmidt, Simon Robinson [美]. Microsoft Visual C#. NET 2003 开发技巧大全[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.4

附件 I

表 1 需求量、卸货时间、最后时限

受灾点	A			B			C			D			E			F			G			H		
虚拟点 i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
需求量 Ri	50	60	70	10	50	30	20	60	80	80	20	50	40	30	20	40	30	30	40	20				
卸货时间 $S_{iu}(h)$	0.42	0.5	0.58	0.08	0.42	0.25	0.17	0.5	0.67	0.67	0.17	0.42	0.33	0.25	0.17	0.33	0.25	0.25	0.33	0.17				
最后时限 D_i	10	16	18	12	15	14	18	11	11	16	10	12	12	9	11	13	17	9	15	15				

附件 I

表 2 节点间根据路距转化的费用矩阵 ($\alpha_{ij} \cdot d_{ij}$)

节点	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	40	40	40	39	39	11	11	65	65	65	47	47	47	84	84	26	26	53	53	53
1	40	0	0	0	25	25	38	38	22	22	22	51	51	51	44	44	30	30	49	49	49
2	40	0	0	0	25	25	38	38	22	22	22	51	51	51	44	44	30	30	49	49	49
3	40	0	0	0	25	25	38	38	22	22	22	51	51	51	44	44	30	30	49	49	49
4	39	25	25	25	0	0	64	64	41	41	41	30	30	30	27	27	75	75	13	13	13
5	39	25	25	25	0	0	64	64	41	41	41	30	30	30	27	27	75	75	13	13	13
6	11	38	38	38	64	64	0	0	36	36	36	82	82	82	50	50	67	67	18	18	18
7	11	38	38	38	64	64	0	0	36	36	36	82	82	82	50	50	67	67	18	18	18
8	65	22	22	22	41	41	36	36	0	0	0	23	23	23	58	58	94	94	39	39	39
9	65	22	22	22	41	41	36	36	0	0	0	23	23	23	58	58	94	94	39	39	39
10	65	22	22	22	41	41	36	36	0	0	0	23	23	23	58	58	94	94	39	39	39
11	47	51	51	51	30	30	82	82	23	23	23	0	0	0	72	72	54	54	45	45	45
12	47	51	51	51	30	30	82	82	23	23	23	0	0	0	72	72	54	54	45	45	45
13	47	51	51	51	30	30	82	82	23	23	23	0	0	0	72	72	54	54	45	45	45
14	84	44	44	44	27	27	50	50	58	58	58	72	72	72	0	0	18	18	66	66	66
15	84	44	44	44	27	27	50	50	58	58	58	72	72	72	0	0	18	18	66	66	66
16	26	30	30	30	75	75	67	67	94	94	94	54	54	54	18	18	0	0	51	51	51
17	26	30	30	30	75	75	67	67	94	94	94	54	54	54	18	18	0	0	51	51	51
18	53	49	49	49	13	13	18	18	39	39	39	45	45	45	66	66	51	51	0	0	0
19	53	49	49	49	13	13	18	18	39	39	39	45	45	45	66	66	51	51	0	0	0
20	53	49	49	49	13	13	18	18	39	39	39	45	45	45	66	66	51	51	0	0	0

表 3 节点间根据路距转化的时耗矩阵 ($S_{ij} = \beta_{ij} \cdot d_{ij}$)

节点	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	1.3	1.3	1.3	3	3	0.4	0.4	2	2	2	0.8	0.8	0.8	1.5	1.5	1.2	1.2	2	2	2
1	1.3	0	0	0	1.6	1.6	2.1	2.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	2.6	2.6	1.2	1.2	2.4	2.4	2.4
2	1.3	0	0	0	1.6	1.6	2.1	2.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	2.6	2.6	1.2	1.2	2.4	2.4	2.4
3	1.3	0	0	0	1.6	1.6	2.1	2.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	2.6	2.6	1.2	1.2	2.4	2.4	2.4
4	3	1.6	1.6	1.6	0	0	0.7	0.7	1	1	1	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	2.5	2.5	1.1	1.1	1.1
5	3	1.6	1.6	1.6	0	0	0.7	0.7	1	1	1	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	2.5	2.5	1.1	1.1	1.1
6	0.4	2.1	2.1	2.1	0.7	0.7	0	0	1	1	1	2.7	2.7	2.7	1.4	1.4	2.3	2.3	0.5	0.5	0.5
7	0.4	2.1	2.1	2.1	0.7	0.7	0	0	1	1	1	2.7	2.7	2.7	1.4	1.4	2.3	2.3	0.5	0.5	0.5
8	2	1.2	1.2	1.2	1	1	1	1	0	0	0	2.5	2.5	2.5	1.7	1.7	0.8	0.8	1.2	1.2	1.2
9	2	1.2	1.2	1.2	1	1	1	1	0	0	0	2.5	2.5	2.5	1.7	1.7	0.8	0.8	1.2	1.2	1.2
10	2	1.2	1.2	1.2	1	1	1	1	0	0	0	2.5	2.5	2.5	1.7	1.7	0.8	0.8	1.2	1.2	1.2
11	0.8	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.7	2.7	2.5	2.5	2.5	0	0	0	1.5	1.5	2	2	2.2	2.2	2.2
12	0.8	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.7	2.7	2.5	2.5	2.5	0	0	0	1.5	1.5	2	2	2.2	2.2	2.2
13	0.8	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.7	2.7	2.5	2.5	2.5	0	0	0	1.5	1.5	2	2	2.2	2.2	2.2
14	1.5	2.6	2.6	2.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.7	1.7	1.7	1.5	1.5	1.5	0	0	0.6	0.6	1	1	1
15	1.5	2.6	2.6	2.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.7	1.7	1.7	1.5	1.5	1.5	0	0	0.6	0.6	1	1	1
16	1.2	1.2	1.2	1.2	2.5	2.5	2.3	2.3	0.8	0.8	0.8	2	2	2	0.6	0.6	0	0	2.1	2.1	2.1
17	1.2	1.2	1.2	1.2	2.5	2.5	2.3	2.3	0.8	0.8	0.8	2	2	2	0.6	0.6	0	0	2.1	2.1	2.1
18	2	2.4	2.4	2.4	1.1	1.1	0.5	0.5	1.2	1.2	1.2	2.2	2.2	2.2	1	1	2.1	2.1	0	0	0
19	2	2.4	2.4	2.4	1.1	1.1	0.5	0.5	1.2	1.2	1.2	2.2	2.2	2.2	1	1	2.1	2.1	0	0	0
20	2	2.4	2.4	2.4	1.1	1.1	0.5	0.5	1.2	1.2	1.2	2.2	2.2	2.2	1	1	2.1	2.1	0	0	0

附件 II

本文运用遗传算法求解 VRPTD 问题 C#程序源代码的主要部分:

```
public class Inherit
{public RouteOptimize m_Route;
/// 参数定义
publicInherit(RouteOptimize route){m_ChromLength=m_CustomCount+m_CarCount+1;}
public NodeCollection m_Customs;
public CarCollection m_Cars;
int m_CarCount=5;
int m_CustomCount=21;
double[,,,,,,,,,,,,,,] Distance=new double[21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21];
double[] Demand=new double[21]{};
double[] Dead_time=new double[21]{};
double[] Service_time=new double[21]{};
double[,,,,,,,,,,,,,,] Drive_time=new double[21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21];
int m_ChromLength;
public static int MaxGeneration=1000;
public static double Pc=0.8;
public static double Pm=0.001;
public static double CapacityPunish=9999;
public static double TimePunish=9999;
public double CapacityMax=200;
int m_Generation;
int m_BestIndex;
int m_WorstIndex;
public Individual m_BestIndividual;
Individual m_WorstIndividual;
Individual m_CurrentBest;
Individual[] m_Population;
Individual[i].m_chrom=new int[] {}
/// 计算对象函数值
public void CalculateObjectValue(ref Individual ind)
double s=0;
for(int j=0;j<this.m_ChromLength-1;j++)
{s+=Distance[j,j+1]}
    double cap=0;
    double cap_over=0;
    double time_over=0;
    double arrive_time[0]=7;
    int k=0;
    for(int j=0;j<this.m_Cars.Count;j++).
```

```

    {if(k==this.m_ChromLength)break;
    while(ind.m_Chrom[k]!=0)
        {cap+=Demond[ind.m_Chrom[k]];
        arrive_time[ind.m_Chrom[k]]=arrive_time[ind.m_Chrom[k-1]]+Service_time[ind.m_Chrom[k]
-1]+Drive_time[ind.m_Chrom[k]];
        if(arrive_time[ind.m_Chrom[k]]>Dead_time[ind.m_Chrom[k]])
            {time_over+=arrive_time[ind.m_Chrom[k]]-Dead_time[ind.m_Chrom[k]];}
            k++;}
    if(cap>CapacityMax){cap_over+=cap-CapacityMax;}
    cap=0;
    k++;}
s+=cap_over*Inherit.CapacityPunish+time_over*Inherit.TimePunish;
ind.m_Value=s;}
/// 计算适应度
public void CalculateFitnessValue(ref Individual ind)
{if(ind.m_Value>0)
    {for(int i=0;i<Inherit.PopulationSize;i++)
        {ind.m_Fitness = 1/ind.m_Value;}}
else{WriteLog.WriteLine("染色体的 Value 值非法:"+ind.ToString());}
/// 寻找并保留最好个体
public void FindBestAndWorstIndividual()
{this.m_BestIndividual=this.m_Population[0];
this.m_WorstIndividual=this.m_Population[0];
this.m_BestIndex=this.m_WorstIndex=0;
for(int i=0;i<Inherit.PopulationSize;i++)
{if(this.m_Population[i].m_Fitness>this.m_BestIndividual.m_Fitness)
    {this.m_BestIndividual= this.m_Population[i];
    this.m_BestIndex=i;}
else if(this.m_Population[i].m_Fitness<this.m_WorstIndividual.m_Fitness)
    {this.m_WorstIndividual =this.m_Population[i];
    this.m_WorstIndex=i;}}
if(this.m_Generation == 0){this.m_CurrentBest = this.m_BestIndividual;}
else{if(this.m_BestIndividual.m_Fitness > this.m_CurrentBest.m_Fitness)
    this.m_CurrentBest=this.m_BestIndividual;}}
public void PerformEvolution()
{if(this.m_BestIndividual.m_Fitness > this.m_CurrentBest.m_Fitness)
    {this.m_CurrentBest=this.m_Population[this.m_BestIndex];}
else{this.m_Population[this.m_WorstIndex] = this.m_CurrentBest;}}
/// 选择算子, 采用保存精英和轮盘赌的方法
public void SelectionOperator()
{WriteLog.WriteLine("选择");
double[] cfitness=new double[Inherit.PopulationSize];
Individual[] newPopulation=new Individual[Inherit.PopulationSize];
double s=0;

```

```

for(int i=0;i<Inherit.PopulationSize;i++)
{s+=this.m_Population[i].m_Fitness;}
cfitness[0]=this.m_Population[0].m_Fitness/s;
for(int i=1;i<Inherit.PopulationSize;i++){cfitness[i] = this.m_Population[i-1].m_Fitness/s+cfitness[i-1];}
cfitness[Inherit.PopulationSize-1]=1.0;
//保存精英
newPopulation[0] = this.m_Population[this.m_BestIndex];
for(int j=0;j<this.m_ChromLength;j++)
{newPopulation[0].m_Chrom[j]=m_Population[this.m_BestIndex].m_Chrom[j];}
//轮盘赌
System.Random rand=new Random();
for(int i=1;i<Inherit.PopulationSize;i++)
{double p=rand.NextDouble();
int index=0;
while(p>cfitness[index]){index++;}
newPopulation[i] = this.m_Population[index];
newPopulation[i].m_Chrom=new int[this.m_ChromLength];
for(int j=0;j<this.m_ChromLength;j++)
{newPopulation[i].m_Chrom[j]=m_Population[i].m_Chrom[j];}}
this.m_Population=newPopulation;}

/// 交叉算子
public void CrossoverOperator()
{
//WriteLog.WriteLine("交叉");
bool [] sel=new bool[Inherit.PopulationSize];
for(int i=0;i<Inherit.PopulationSize;i++)sel[i]=false;
System.Random rand=new Random();
for(int i=0;i<Inherit.PopulationSize/2;i++)
{int n1=rand.Next(Inherit.PopulationSize);
int n2=rand.Next(Inherit.PopulationSize);
while(true)
{if(sel[n1]==false){sel[n1]=true;break;}
else{n1=(n1+1)%Inherit.PopulationSize;}}
while(true)
{if(sel[n2]==false){sel[n2]=true;break;}
else{n2=(n2+1)%Inherit.PopulationSize;}}
//p[n1]与 p[n2]交换
double pp=rand.NextDouble();
if(pp<Inherit.Pc)
{
//第一条子代
int start,end;
start=rand.Next(this.m_ChromLength-1);
while(this.m_Population[n1].m_Chrom[start]!=0)
start--;
end=start+1;

```

```

while(this.m_Population[n1].m_Chrom[end]!=0)
end++;
Individual ind1=new Individual();
ind1.m_Chrom=new int[this.m_ChromLength];
int k=0;
for(int j=0;j<this.m_ChromLength;j++)
{if(j>=start && j<=end){ind1.m_Chrom[j]=this.m_Population[n1].m_Chrom[j];}
else {if(this.m_Population[n1].m_Chrom[j]==0)ind1.m_Chrom[j]=0;
else {bool done=false;
do {done=false;
if(this.m_Population[n2].m_Chrom[k]==0){k++;done=true;}
else {for(int l=start;l<=end;l++)
{if(this.m_Population[n1].m_Chrom[l]==this.m_Population[n2].m_Chrom[k])
{k++;done=true;break;}}}}
while(done);
ind1.m_Chrom[j]=this.m_Population[n2].m_Chrom[k++];}}}
//第二条子代
start=rand.Next(this.m_ChromLength-1);
while(this.m_Population[n2].m_Chrom[start]!=0)
start--;
end=start+1;
while(this.m_Population[n2].m_Chrom[end]!=0)
end++;
Individual ind2=new Individual();
ind2.m_Chrom=new int[this.m_ChromLength];
k=0;
for(int j=0;j<this.m_ChromLength;j++)
{if(j>=start && j<=end){ind2.m_Chrom[j]=this.m_Population[n2].m_Chrom[j];}
else {if(this.m_Population[n2].m_Chrom[j]==0)ind2.m_Chrom[j]=0;
else {bool done=false;
do {done=false;
if(this.m_Population[n1].m_Chrom[k]==0){k++;done=true;}
else {for(int l=start;l<=end;l++)
{if(this.m_Population[n2].m_Chrom[l]==this.m_Population[n1].m_Chrom[k])
{k++;done=true;break;}}}}
while(done);
ind2.m_Chrom[j]=this.m_Population[n1].m_Chrom[k++];}}}
//更新子代
this.m_Population[n1]=ind1;
this.m_Population[n2]=ind2;}}}
/// 变异算子
public void MutationOperator()
{WriteLog.WriteLine("变异");
System.Random rand=new Random();

```

```

for(int i=0;i<Inherit.PopulationSize;i++)
{for(int j=1;j<this.m_ChromLength-1;j++)
{double mp=rand.NextDouble();
//随机交换两个位置的数据
if(mp<Inherit.Pm){int n1;
n1=rand.Next(this.m_ChromLength);
while(n1==j || n1 == 0 || n1 == this.m_ChromLength-1)
n1=rand.Next(this.m_ChromLength);
int temp=this.m_Population[i].m_Chrom[j];
this.m_Population[i].m_Chrom[j]=this.m_Population[i].m_Chrom[n1];
this.m_Population[i].m_Chrom[n1]=temp;}}
AdjustNoContinuousZero(ref this.m_Population[i]);}}
/// 输出报告
public void OutPutTextReport()
{string str="";
str+="遗传代数: "+this.m_Generation.ToString()+"\r\n";
WriteLog.WriteLine(str);
str="";
for(int i=0;i<Inherit.PopulationSize;i++)
{str+=i.ToString()+"."+this.m_Population[i].m_Value.ToString()+"\t";
WriteLog.Write(str);
str="";
for(int j=0;j<this.m_ChromLength;j++)
{WriteLog.Write(this.m_Population[i].m_Chrom[j].ToString()+"\t");}
WriteLog.Write("\r\n");}
str="最佳的个体: "+this.m_CurrentBest.m_Value.ToString()+"\r\n";
WriteLog.Write(str);
for(int j=0;j<this.m_ChromLength;j++)
{WriteLog.Write(this.m_BestIndividual.m_Chrom[j].ToString()+"\t");}
WriteLog.Write("\r\n");}
/// 调整使得染色体不含连续的 0
public void AdjustNoContinuousZero(ref Individual ind)
{System.Random rand=new Random();
for(int i=0;i<this.m_ChromLength-1;i++)
{if(ind.m_Chrom[i]==0 && ind.m_Chrom[i+1]==0)
{while(true){int n=rand.Next(this.m_ChromLength-2)+1;
if(ind.m_Chrom[n-1]!=0 && ind.m_Chrom[n+1]!=0)
{//对换该位置和第 i 位
ind.m_Chrom[i] = ind.m_Chrom[n];
ind.m_Chrom[n] = 0;
break;}}}
if(ind.m_Chrom[0]!=0)
{ind.m_Chrom[1]=ind.m_Chrom[0];
ind.m_Chrom[0]=0;}}}

```

/// 个体

```
public struct Individual
{public int [] m_Chrom;
public double m_Value;
public double m_Fitness;
public override string ToString()
{string str=this.m_Chrom.Length.ToString()+",";
for(int i=0;i<this.m_Chrom.Length;i++){str+=string.Format("{0},"",this.m_Chrom[i]);}
str+=m_Value.ToString()+",";
str+=m_Fitness.ToString();
return str;}}
```


攻读学位期间取得的研究成果

- [1] 蒋树森, 郭晓汾, 施晓岚. 蒙特卡罗方法在物流配送中心库存优化模型中的应用[EB/OL]. 第四次中国物流学术年会, 2005.11
- [2] 施晓岚, 郭晓汾. 城市出行及其对交通影响的分析[C]. 研究生科技论坛: 长安大学研究生学术年会论文集, 2005.11
- [3] 施晓岚. 交通运输系统布局规划混合模型探讨[C]. 西部公路学会 2006 年学术年会论文集, 2006.8
- [4] 施晓岚, 许宗桢, 郭晓汾. 物流配送中的枢纽设施点定位模型之初探[J]. 物流科技, 2006.12

致 谢

本文是在我的导师郭晓汾教授的悉心指导下完成的。论文从选题、资料收集到论文的撰写、修改，无不浸透着恩师的心血和汗水。尤其是在定稿阶段，郭老师对于行文每一个细节乃至标点符号都一丝不苟地进行审阅，让我深受感动。三年来，郭老师不仅从学术上教授了很多，更从生活中给予了我无限的启迪，他渊博的学识、高尚的人格、严谨的治学风范、求实的工作精神和执着的人生态度，使我受益终生。我的师母沈老师也给予了极大的关怀和帮助。在此，谨向郭老师和沈老师表达我深深地敬意和由衷的感谢！

同时，非常感谢汽车学院各位老师在我求学期间给予的指导和关怀，感谢各位同学在学习上和生活中一如既往的支持和帮助，这份师生之情、同窗之谊，我将铭记于心。

在此，要特别感谢西安交通大学电子与信息工程学院系统工程所的杨锋硕士在本文的写作中给予的帮助！

还要感谢我远在异乡的男友许宗楨，三年来一直给予我学习和进步的动力，他的督促和建议伴随了论文写作的整个过程。

最后，要对我亲爱的父母说一声：谢谢！求学生涯中，他们的信任、支持给予了我极大的鼓励和无穷的斗志。扬帆行有志风华正茂，在今后的学习和工作中，一定不负厚望、再接再厉！

作者：[施晓岚](#)
学位授予单位：[长安大学](#)
被引用次数：5次

本文读者也读过(9条)

1. [徐琴](#) 突发公共事件应急物流系统优化中的定位—路径问题研究[学位论文]2008
2. [高慧](#) 应急物资车辆调度模型研究[学位论文]2008
3. [乔鹏亮](#) 地质灾害下区域应急物流配送网络研究[学位论文]2009
4. [仇戈](#) 应急物流管理下的路线问题研究[学位论文]2010
5. [陈梓杰](#) 应急物资敏捷筹措网络构建研究[学位论文]2009
6. [苑魁](#) 快速反应的应急物流系统设计及应急服务网点选址模型研究[学位论文]2010
7. [黄金虎](#) 应急物流系统若干关键技术的研究与实现[学位论文]2007
8. [周尧](#) 自然灾害应急物流能力评价体系研究[学位论文]2009
9. [张斌](#) 应急物流配送车辆调度优化研究[学位论文]2007

引证文献(5条)

1. 钟汉勤, 胡芳, 崔新宇 [应急物流网络的初探](#)[期刊论文]-[企业导报](#) 2012(5)
2. 黄天春 [人道主义物流中灾害救援网络研究](#)[期刊论文]-[物流工程与管理](#) 2013(4)
3. 刘思婧, 张锦, 李国旗 [面向非常规突发事件的区域物流配送网络体系设计](#)[期刊论文]-[世界科技研究与发展](#) 2011(6)
4. 张纪海, 张萌萌 [成品油动员物流网络内涵及结构](#)[期刊论文]-[北京理工大学学报\(社会科学版\)](#) 2012(3)
5. 商丽媛, 谭清美 [不确定应急物流中心选址模型及算法研究](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2013(12)

引用本文格式：[施晓岚](#) [应急物流网络规划方法研究](#)[学位论文]硕士 2007