基于云平台的突发公共安全事件下应急物流路径优化研究

王英辉，吴济潇

（石家庄铁道大学 经济管理学院，石家庄 050043）

摘 要：公共安全事件事发突然，危害极大，往往会造成极大的生命财产损失。应急物资分配不当、协同运输效率低、救灾成本高、非营利组织处理应急物资能力不足等问题也为公共安全事件的防控带来一定的隐患。本文基于新冠疫情、河南洪涝等公共安全事件的处理经验，搭建基于云平台的应急物流模式，以减少由于信息不对称性所带来的成本，提高应急物资分配效率。通过具有君主方案的遗传算法对基于云平台的应急物流路径进行优化。样本网络数值表明，该云平台能降低运输时间，减少配送成本，找到物资最优配送路径，且具有较好的稳定性。

关键词：云平台；应急物流；路径优化；遗传算法；公共安全事件

中图分类号：C935 **文献标志码：**A **文章编号：**1002—980X（2021）12—0162—12

一、引言

针对2020年初爆发的新冠肺炎疫情，中国实行严格的全民抗疫手段，阻挡了疫情在全国的肆虐，然而2021年7月德尔塔病毒在南京禄口机场的爆发，再次造成了社会秩序的紊乱，威胁到人民生命安全。同时，2021年7月河南爆发了史无前例的洪灾，这给河南地区的人民造成了巨大的生命和财产的损失。这些突发公共安全事件为相关地区的应急防护与救援工作带来了极大的挑战，尽管现有的应急体制发挥了一定的作用，但受部分决策失误、应急物资分配不当等因素的影响，受灾地区的应急物资在供需协调、高效配置、分类预测评估等方面出现了一些问题，灾区的受灾人群、物资需求量在短时间内爆炸式增长，导致现有的应急体系难以高效响应，应急物资难以合理分配，这给救灾工作带来了极大的压力，加剧了受灾地区灾情控制的难度。

突发公共安全事件是指突然发生造成重大的财产损失、人员伤亡、生态环境破坏、某些产业经济生产停止甚至交通系统瘫痪的紧急事件（潘婷，2019）。尽管大多数公共安全事件是难以避免的，但仍能通过构建有效的应急物流体系进行有效地预防。为了更好地优化公共安全事件下应急物流配送能力，加速灾区救济，本文用涵盖大数据、信息化、智能化的云平台来解决受灾地区应急物资的配送难题，即将应急物资的供求信息集成于云平台，减少应急物流服务中物资供需信息不透明、供需品类数量不对称、配送的不确定等问题。具体来说就是以大数据的云平台为依托，将应急物资的供应方、需求点、配送车辆及不同品类应急物资供需信息等接入云平台，用云平台优化应急物流网络中各节点的对接，在有效降低应急物流成本的同时，实现高效智能化的应急路径优化。

针对应急物流中的路径优化，过去的研究者们主要通过线性规划（朱莉等，2017）、启发式算法（刘长石和寇纲，2015；胡忠君，2018；Yang et al，2016；Jiang et al，2020；Wu 和 Wang，2021）、物联网技术（Gao et al，2021）等方法优化应急物资的分配决策，探究时间约束下的最优配置路径。对应急物流配送效率的优化主要集中于最短运输时间（Wang 和 Ma，2021；Liu et al，2013；Sun et al，2020）和最少运输成本（Hu 和 Sheu，2013；Garrido et al，2015；Wang et al，2016；Liu 和 Guo，2014）两个方面。然而，突发公共安全事件中的应急物资分布不同于传统的应急物流，有其独特的特点（周霞，2020）。在结合新冠肺炎疫情、河南洪涝等公共安全事件中

收稿日期：2021—07—07

基金项目：河北省教育厅社会科学类重点项目“基于便利和效率的高铁物流联盟研究”（SD2021040）；石家庄铁道大学创新团队发展专项“基于高铁公路联运的京津冀物流服务网络设计研究”（SCT202003）

作者简介：王英辉，博士，石家庄铁道大学教授，研究方向：产业经济学，物流与供应链管理；吴济潇，石家庄铁道大学硕士研究生，研究方向：物流与供应链管理。

各受灾需求点的特点后,本文采用带有君主方案的遗传算法对应急物流配送模式进行计算,以优化公共安全事件下的路径优化。

随着信息技术的不断发展,利用信息技术来完成物流过程,实现从网络前端到最终客户端的物流信息化受到了许多关注。研究者们通过物流联盟(Wei和Lee,2021)、超网络理论(Zhu et al,2017)等方式将一定区域内的应急供应链相结合,以优化物流服务,构建综合应急物流配送平台,解决应急物流网络中的多路径问题(Xu et al,2020;吕婧等,2020;李旭东等,2020)。大数据在应急事件的辅助资源调度与防控决策中起到了重要的作用,广泛的应用智慧物流能有效提升城市应对应急事件的韧性(段进等,2020;Govindan et al,2018;Shafqat et al,2018;杨帆等,2021)。即构建有统一调度和协同机制的应急供应链协同管理平台,能有效消除应急物资供应需求不均衡现象,满足需求点的医疗救治需求(李宁,2020)。将大数据、区块链等信息技术与应急物资管理相结合,构建定向捐赠物资供应信息管理模式,从应急物资供应的信息透明度、公信力、效率、公平及协同方面推进应急物流效率(胡卿汉等,2020)。研究者们将应急物流与信息化技术相结合,研究了区块链、云平台等先进技术对于优化应急物流配送的重要作用,论证了基于云平台的应急物流配送的可行性,但目前鲜有深入研究物流信息化的模型构建与功能设计的文献,对于在应急物流(特别是突发公共安全事件)中建立物流信息平台的研究也不是很多。因此本文结合疫情、洪涝等公共安全事件的供需特征,构建应急物流云平台。

在物流信息化的基础上,研究者们尝试将云平台与物流相结合,构建以云平台为基础的智慧物流系统:他们将大数据与云技术应用到物流供应链中,探究大数据与云平台对供应链的优化方法和效益(Govindan et al,2018)。应急物流云平台的构建可依托于政府部门(王品悦,2017),它能妥善处理物流平台中网络安全、用户接纳、信息技术更新、数据共享等风险,打造物流全域云平台阶梯式风险管理机制,优化物流云平台数据共享、信息安全等能力(王杰等,2019)。通过自动匹配和云技术等功能(李佳,2018),云平台能处理目标间的高效动态物资调度任务,从而提升物流配送效率(Fu et al,2021)。这说明云技术能优化应急物流网络的配送效率,但现有的工作很少有考虑将云平台与公共安全事件相结合,通过云平台来提升应急物资的分配效率。为拓宽云平台的工作范围,提高应急物流分配效率,本文将云平台与应急物流相结合,探究云平台在应急物流中的优化作用。

综上所述,本文针对公共安全事件下的应急物流配送问题进行以下创新:①构建云平台解决应急物流中由信息不对称所导致的物资配置不当、分配效率低下、交易成本高等问题,打造大数据、信息化、智能化的应急物流网络,通过实时交互的智慧云平台减少物流网络的信息博弈、交易成本,以优化应急物流物资的配送路径、节约运输时间、降低物流成本;②根据突发公共安全事件中各需求点对应急物资的需求建立基于云平台的应急物流配送模式,进行城市应急物流配送路径优化研究,以保障应急物资的配送时效性、减少应急物流配送时间与成本。

二、基于云平台的应急物流配送设计

根据阿里云、电气与电子工程师协会及阿里研究院2018年联合发布的《中国云信任报告》显示,70%的企业已将一半以上业务放于云平台中,43%的企业将全部业务放于云平台中,云平台已成为被中国社会所接受的模式。基于大数据、信息化在应急物流领域已有的研究(何勇和任丽丽,2013;余佳等,2019;Chu et al,2018),本文构建公共安全事件下云平台应急物流配送模型。与其他学者构建的物流配送模型相比,本文利用云平台将多方物资供应和需求信息进行处理,从而根据受灾情况对灾区物资需求制定最优配送方案。目前学者们通过智慧物流的形式将大数据、云平台应用在一般性物流领域,解决了在物流信息传输、供应链管理、运输路线规划、物资配送等方面的优化问题(卢冰原等,2013)。基于云平台的物流配送模式依托于云计算、大数据技术、通信设施及各类服务器等基础和网络设施上,具有统一的技术标准、系统设置和协议规范,以互联网及网络技术为关键,整合各级子系统,形成具有多种功能和模块的,能够处理受灾地区的各类应急物资配送的智慧复杂决策系统(李佳,2018)。

如图1所示,首先,该应急物流配送云平台在功能上由受灾节点平台、应急车辆平台、救灾物资平台与一个核心模块构成。其次,明确各模块的功能及任务模式。最后,确定各模块间的数据关系与传输路径,如受灾节点平台主要将各节点的物资需求连接到云平台中,渗透到应急物流配送的各个环节;应急车辆平台从信息流动和服务流动方面优化云平台物流配送模式,将整个供应链条中所涉及的物流、资金流、信息流汇集到

云平台中，并通过物联网技术对物流运输进行实时监控；救灾物资平台将各物资供应方提供的应急物资与云平台结合，在合理分配资源的同时，加强非营利组织对应急物资的监管；核心模块主要由通信层、隔离层、云计算和大数据四部分组成，以便迅速整合应急物流云平台的供应需求信息，并及时有效地反馈到各节点中，从而使物流网络高效运作，合理物资配送，优化物流成本（Arulprakash 和 Jebakumar，2021）。

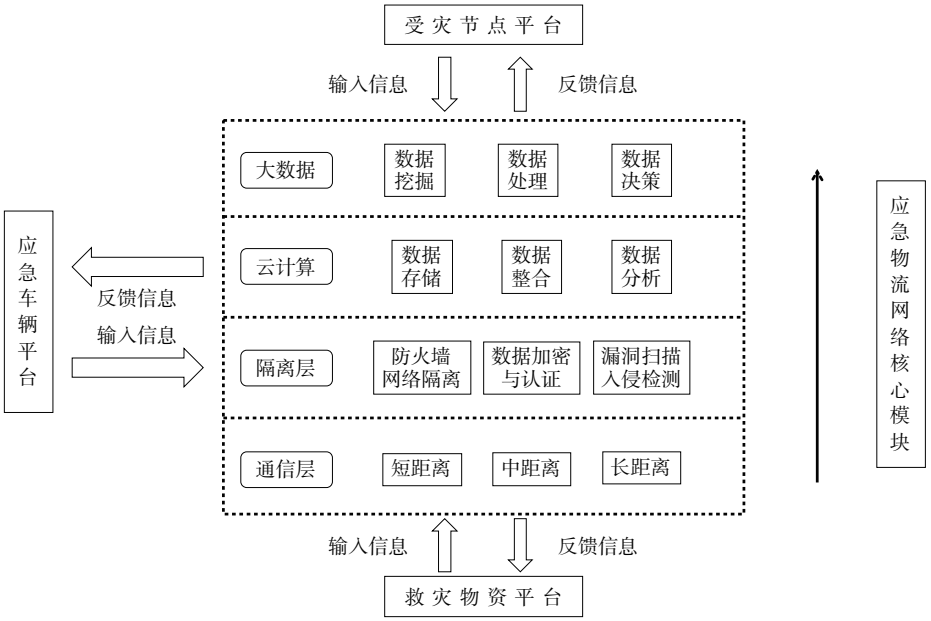

图 1　公共安全事件下的云平台应急物流配送功能模块

云平台应急物流配送的核心模块主要由通信层、隔离层、云计算和大数据四部分组成。首先，由通信层利用以光纤光缆、金属导线为主的有线通信和以微波通信、卫星通信为主的无线通信将各节点提供的车辆、物资需求量、物资库存量等数据信息传输到云平台中；其次，通过隔离层对云平台数据进行隔离以保证数据安全，隔离的方法主要由在内外源网络间设置防火墙的网络隔离，且采用加密技术的数据隔离两部分组成（Chen 和 Tu，2013）；然后，通过云存储为庞大的数据体量提供存储服务，利用云计算将杂乱的数据按重要性分类整合、数据分析，以剔除无用信息，保留有价值的数据；最后，大数据的处理需要人工智能、程序化语言合作完成：对数据进行二次挖掘，筛选出关键信息，再通过智能算法对筛选后的关键信息进行处理，结合实际需求信息分析出最优物流配送路线，最后将决策信息通过通信层传输至云平台的各个节点，进而反馈到实际的物流运输过程中。

应急物流配送的运输储备体系与一般物资在筹措和储运方式等方面均不同（王妍妍和孙佰清，2019）。为明确建模边界，本文通过云平台获取应急物资供应信息与分类需求信息，重点研究应对公共安全事件所需的应急物流配送系统。该云平台的应急物流配送步骤可简要概括为：发布各需求点物资需求数据，从各地的物资供应方、集配中心征集应急物资→物资储备与配送方案→物资分拣与车辆管理、路径选择的智能云决策→各需求点进行物流配送。本文所涉及的基于云平台的公共安全事件下应急物流配送详细流程如图 2 所示，云平台主要承担信息流部分的工作，物流部分则交由相关的应急人员负责。

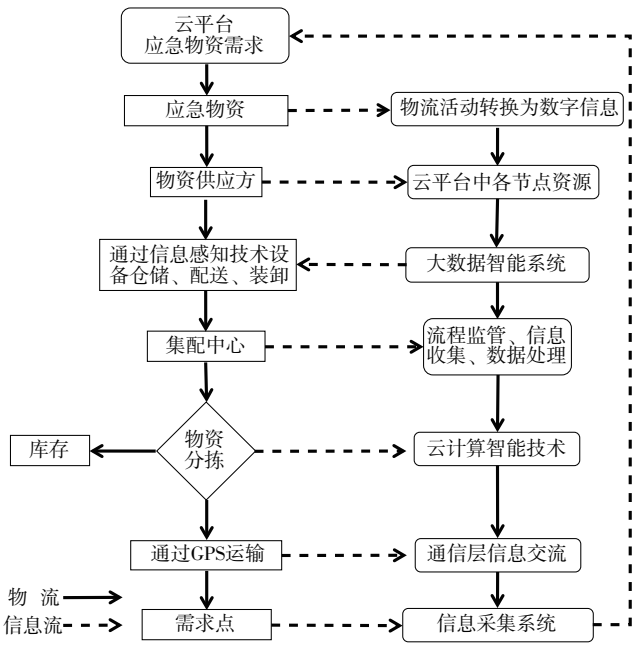

图 2　基于云平台的公共安全事件下应急物流配送处理流程

三、问题描述

由于应急物资存在一定的使用期限且消耗速率较大,故在公共安全事件发生后,城市日常储备的应急物资往往只能维持短时间内的平衡,难以满足城市应急的长期需求。公共安全事件中各需求点的受灾程度各不相同,对不同的物资需求的紧急程度也有所不同,如何根据应急物资的需求波动情况合理规划物资分配,把应急物资用在合适的地方,对于保护人民群众的生命财产安全十分重要。传统的应急物流配送供应链结构一般为“物资供应方-集配中心-需求点”的三级应急物资分配网络,但这类模式对数据要求较多,且对各部分所花费的时间过度理想化(胡晓伟等,2020)。

传统的公共安全事件下应急物流配送模式流程冗杂,各节点之间的信息沟通不足,容易产生诸多额外的成本,而基于云平台的应急物流配送模式能通过云平台将i个物资供应方与j个需求点间的“i×j”条配送路线优化为“i+j”条配送路线,大大简化配送流程。由于云平台中信息资源共享充分,物资供应方能充分了解需求点的物资需求情况,这使得从物资供应方出发的车辆无须再如传统模式一般经集配中心中转后才能抵达需求点,能直接实现从物资供应方到需求点的物资配送(图3)。要想使得整体应急物流网络的配送路径、综合成本达到最优,一方面需要合理规划应急物资的分配路线及各节点分布位置,让所有路线的成本之和达到最小;另一方面也需要综合考虑应急物流的路径优化,建立以物资配送最优为目标的云平台应急物流配送模型。

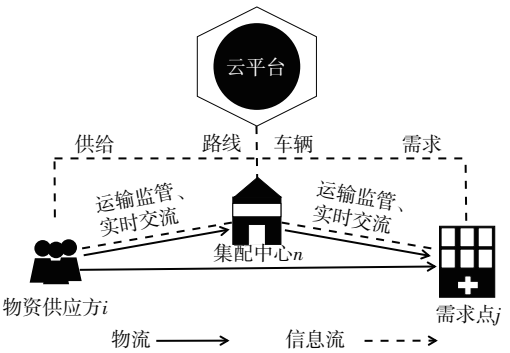

图3 基于云平台的公共安全事件下应急物流配送模式

参考公共安全事件下的应急物流配送的实际场景,结合云平台的特征作出如下假设:①在应急物流配送过程中,一辆车一次只能执行一类物资的配送任务;②基于云平台的应急物流配送中各节点不会产生交易成本及信息成本;③本文中的云平台由国家牵头打造,故各节点无须考虑云平台服务的开设成本。

(一)参数设置

基于云平台的公共安全事件下应急物流配送模式的相关参数、集合及决策变量见表1。

表1 参数、集合及决策变量

参数名称	参数意义
d^1_{ij}	从物资供应方i到需求点j的距离
d^2_{in}	从物资供应方i到集配中心n的距离
d^3_{jn}	从需求点j到集配中心n的距离
q_{ijkn}	车辆k经集配中心n从物资供应方i到需求点j的单位运输能力
c_{ijk}	车辆k从物资供应方i到需求点j的单位运输成本
v	车辆运行速度
I	物资供应方i的集合
J	需求点j的集合
P	物资供应方i到需求点j的供需点对的集合
N	集配中心n的集合
K	车辆k的集合
G_n	集配中心n的应急物资容量上限
T_n	物资装卸处理时间
C_n	物资装卸处理成本
D_i	物资供应方i发出的应急物资量集合
Q_k	车辆k的应急物资容量上限
S_j	需求点j收到的应急物资量集合
C	云平台应急物流的综合成本
d^P	时段内供需节点对$p \in P$之间的货物流通量
H	无云平台服务时各节点间的交易成本
$V=I \cup J \cup N$	
$x_{ijkn} \in \{0,1\}$	若车辆k经集配中心n从物资供应方i到需求点j,则$x_{ijkn}=1$,否则$x_{ijkn}=0$
$a^p_{ijk} \in \{0,1\}$	若物资供应方i到需求点j之间由车辆k运输并服务于供需点对p,则$a^p_{ijk}=1$,否则$a^p_{ijk}=0$
$X=\{x_{ijkn} \mid \forall i \in V, \forall j \in V, \forall n \in V, \forall k \in K\}$	

(二)模型构建

基于以上符号说明和变量定义,公共安全事件下应急物流配送模式的目标成本如下:

$$\mathrm{Min}C = H + \sum_{i\in V}\sum_{j\in V}\sum_{n\in N}\sum_{k\in K} C_n x_{ijkn} + \sum_{i\in V}\sum_{j\in V}\sum_{n\in N}\sum_{k\in K} c_{ijk} x_{ijkn} (d_{in}^2 + d_{jn}^3) \tag{1}$$

$$\mathrm{Min}C' = \sum_{i\in V}\sum_{j\in V}\sum_{n\in N}\sum_{k\in K} C_n a_{ijk}^p + \sum_{i\in V}\sum_{j\in V}\sum_{k\in K} c_{ijk} a_{ijk}^p d_{ij}^1 \tag{2}$$

$$\mathrm{Min}T = \sum_{i\in V}\sum_{j\in V}\sum_{n\in N}\sum_{k\in K} T_n x_{ijkn} + \sum_{i\in V}\sum_{j\in V}\sum_{n\in N}\sum_{k\in K} x_{ijkn} \frac{d_{in}^2 + d_{jn}^3}{v} \tag{3}$$

$$\mathrm{Min}T' = \sum_{i\in V}\sum_{j\in V}\sum_{n\in N}\sum_{k\in K} T_n a_{ijk}^p + \sum_{i\in V}\sum_{j\in V}\sum_{k\in K} a_{ijk}^p \frac{d_{ij}^1}{v} \tag{4}$$

目标函数式(1)表示传统模式的应急物流的最小综合成本,它包括应急物流中的交易成本,装卸处理成本及从物资供应方到集配中心、从集配中心到需求点的物流运输成本。目标函数(2)表示基于云平台的应急物流的最小综合成本,它包括应急物流流程中的装卸处理成本及从物资供应方到需求点的运输成本。目标函数(3)与函数(4)分别为传统模式与云平台模式应急物流的最短时间,它主要包括物资装卸处理时间与车辆运输时间。

$$\sum_{i\in N\cup I}\sum_{n\in N}\sum_{k\in K} x_{ijkn} = a_{ijk}^p, \forall j \in J, \forall p \in P \tag{5}$$

$$\sum_{i\in N\cup J}\sum_{n\in N}\sum_{k\in K} x_{ijkn} = a_{ijk}^p, \forall j \in J, \forall p \in P \tag{6}$$

$$\sum_{i\in N}\sum_{n\in N}\sum_{k\in K} x_{ijkn} = 1, \forall j \in J, \forall p \in P \tag{7}$$

$$\sum_{j\in N}\sum_{n\in N}\sum_{k\in K} x_{ijkn} = 1, \forall i \in I, \forall p \in P \tag{8}$$

$$\sum_{i\in N}\sum_{k\in K} a_{ijk}^p = 1, \forall j \in J, \forall p \in P \tag{9}$$

$$\sum_{j\in N}\sum_{k\in K} a_{ijk}^p = 1, \forall j \in J, \forall p \in P \tag{10}$$

式(5)和式(6)表示如果该应急物流模式的集配中心 n 被选择服务于供需点对 p,则必须有与其连接的运输方式来运输货物;否则,没有集配中心或运输方式被选择。式(7)和式(8)要求从物资供应方 i 到需求点 j 必须通过集配中心 n 来运输应急物资。式(9)和式(10)表示在传统的应急物流中一次只能选择一条路径进行运输。

$$\sum_{i\in I} D_i = \sum_{j\in J} S_j \tag{11}$$

$$\sum_{p\in P} a_{ijk}^p d^p \leqslant q_{ijkn} x_{ijkn}, \forall i \in V, \forall j \in V, \forall k \in K, \forall n \in N \tag{12}$$

$$\sum_{p\in P} a_{ijk}^p q_{ijkn} \leqslant W_n y, \forall n \in N \tag{13}$$

$$q_{ijkn} \geqslant 0, \forall i \in V, \forall j \in V, \forall k \in K \tag{14}$$

$$\sum_{j\in J} q_{ijkn} \leqslant D_i, \forall i \in I \tag{15}$$

$$\sum_{i\in I} q_{ijkn} \leqslant S_j, \forall j \in J \tag{16}$$

式(11)确保所有物资供应方 i 发出的应急物资数量与需求点 j 收到的应急物资数量相同。式(12)为集配中心 n 的运输路径能力约束,它要求被选择用于供需点对 p 之间配送路径的集配中心 n 和运输方式必须是已开设的。式(13)表示集配中心 n 的应急物资运输处理能力约束。式(14)~式(16)表示在各点之间的运输能力限制。

$$a_{ijk}^p \in \{0, 1\}, \forall i \in V, \forall j \in V, \forall k \in K, \forall p \in P \tag{17}$$

$$x_{ijkn} \in \{0, 1\}, \forall i \in V, \forall j \in V, \forall n \in V, \forall k \in K \tag{18}$$

式(17)和式(18)是相关的0-1决策变量。

(三)算法设计

基于云平台的应急物流配送问题是对传统物流运输问题的扩展,在对应急物流配送路径求解的过程中,由于涉及各个物资供应方、集配中心与需求点的位置问题。因此也是 NP 问题。本文的应急物流配送模式

涉及多个节点,运算规模较大,求解较困难,需要选择相应的智能优化算法对问题进行求解,故本文选择遗传算法来解决基于云平台的应急物流配送问题。本文所涉及的遗传算法的具体步骤如下所示.

步骤1 种群初始化。将各个需求点进行编号,随机排列生成染色体并储存到一个矩阵中,形成初始种群。

步骤2 适应度函数。计算初始种群中各个染色体的行驶距离,同时将各个需求点的物资需求量和车辆的负载上限等加入适应度计算中,从而找到平均时间、路线最短的方式。

步骤3 选择。选择本代中适应度最低的染色体作为父方的染色体,剩下升序排列的染色体作为母方的染色体。

步骤4 交叉-变异。采用君主方案,先选择适应度值最高的染色体作为君主染色体,放在整个种群的奇数位,与其靠后一位的偶数位构成一对,接着根据交叉概率确定交叉点的个数(P_c=0.8),然后按变异概率P_m(P_m=0.3)随机选一些进行变异的个体,然后产生下一代的染色体(Balcik et al,2008)。

该算法计算了交叉-变异后种群个体的适应度,与第g代个体的最小适应度和相应的个体值。然后检查迭代次数是否达到最大迭代次数G。如果达到则停止循环,否则令g=g+1,并返回步骤2重新计算适应度(Balcik et al,2008;王玥丹,2014;袁紫薇,2019;李翠平,2017)。该遗传算法的优化流程如图4所示。

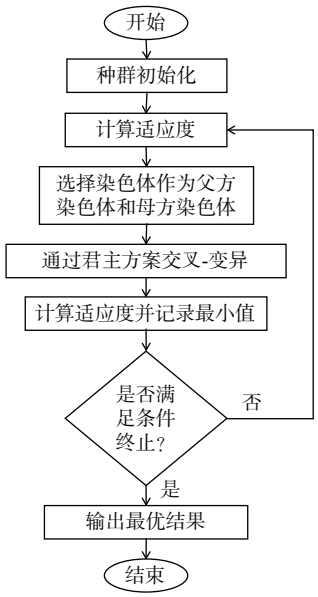

图4 遗传算法的优化流程

四、实验与数据分析

为探究云平台对不同需求点应急物流的优化作用,本文根据受灾城市情况的不同将其分为严重、一般、轻微三个受灾等级,在参考相应城市的物资供应方、集配中心、需求点在地图上的实际坐标分布后利用MATLAB软件生成数据进行模拟实验,同时改变样品城市的部分参数进行灵敏度分析,探究配送路径的稳定性。在应急物流模式中,由不同的集配中心来承担从多个物资供应方i到需求点j之间的应急配送任务,在传统模式中,当车辆进行运输时,在物资供应方装载货物一次,集配中心装载、搬卸货物各一次,需求点搬卸货物一次;在云平台模式中,车辆仅需在物资供应方装载一次货物与在需求点搬卸一次货物,集配中心不参与运输服务。为简便运算,本文不考虑应急物流网络中各节点的固定开设成本,所涉及的节点、数据主要是在百度地图(https://map.baidu.com/)及其他学者研究(Balcik et al,2008;王玥丹,2014;袁紫薇,2019;李翠平,2017;薛星群等,2020)的基础上通过MATLAB软件进行合理调整、优化后生成的结果。

(一)基于云平台的严重受灾城市应急物流优化

将某一严重受灾城市的主要车站、物流园区选为本案例的物资供应方节点;将该严重受灾城市的红十字会、政府相关部门等选为本案例的集配中心节点;将该严重受灾城市的8家主要医院选为本案例的需求点节点。该应急物流模式中各节点的相关数据见表2。

表2 严重受灾城市的物资数据

参数名称	参数符号	数值	参数名称	参数符号	数值
每台车辆运输能力	Q_k(吨)	100	集配中心运输车辆数目	K	3
物流配送速度	v(千米/小时)	60	需求点1所需应急物资量	S_1(吨)	150
集配中心1物资容量	G_1(吨)	230	需求点2所需应急物资量	S_2(吨)	140
集配中心2物资容量	G_2(吨)	250	需求点3所需应急物资量	S_3(吨)	135
集配中心3物资容量	G_3(吨)	130	需求点4所需应急物资量	S_4(吨)	115
集配中心4物资容量	G_4(吨)	100	需求点5所需应急物资量	S_5(吨)	100
物资供应方1发出应急物资量	D_1(吨)	200	需求点6所需应急物资量	S_6(吨)	85
物资供应方2发出应急物资量	D_2(吨)	200	需求点7所需应急物资量	S_7(吨)	130
物资供应方3发出应急物资量	D_3(吨)	150	需求点8所需应急物资量	S_8(吨)	95
物资供应方4发出应急物资量	D_4(吨)	120	集配中心装卸处理时间	T_n(小时)	0.5
集配中心装卸处理成本	C_n(元/千米)	100	传统配送模式交易成本	H(元)	300
单位运输配送成本	c_{ijkn}(元/千米)	7			

在严重受灾城市应急物流模式中，物资供应方、集配中心、需求点之间的距离见表 3。

除以上数据外，本文假设在各节点开设期间，严重受灾城市应急物流模式中各供应点与需求点间的应急物资流通量见表 4（0 表示节点间路径不连通）。

在经过计算后，得到了如图 5 所示的严重受灾城市的综合成本及表 5 所示的严重受灾城市应急物流方案。

表 3　严重受灾城市各点间距离

距离（千米）	集配中心 1	集配中心 2	集配中心 3	集配中心 4	距离（千米）	集配中心 1	集配中心 2	集配中心 3	集配中心 4
物资供应方 1	14.3	19.2	13.8	18.2	需求点 3	14.6	5.4	13.7	4.7
物资供应方 2	4.5	16.3	4.2	15.3	需求点 4	12.7	6	11.8	5.9
物资供应方 3	17.5	7.1	17.1	6.8	需求点 5	6.1	14.8	5.3	14
物资供应方 4	37.6	54.9	63.6	54.1	需求点 6	3.7	14.2	2.9	13.1
需求点 1	33.1	33.8	32.2	29.5	需求点 7	4.6	17.4	4	16.6
需求点 2	18.4	30.1	16.8	29.3	需求点 8	4.7	16.9	3.4	15.8

表 4　严重受灾城市中供需点对的应急物资流通量

流通量（吨）	物资供应方 1	物资供应方 2	物资供应方 3	物资供应方 4	流通量（吨）	物资供应方 1	物资供应方 2	物资供应方 3	物资供应方 4
需求点 1	0	90	80	70	需求点 5	0	40	60	50
需求点 2	100	0	40	0	需求点 6	60	0	0	0
需求点 3	0	50	50	60	需求点 7	0	70	0	0
需求点 4	80	30	0	50	需求点 8	60	0	90	0

在本案例中，传统的严重受灾城市应急物流最优综合成本为 15710 元，救援时间为 12.91 小时；应急物流云平台的最优综合成本为 11510 元，救援时间为 9.68 小时，即通过云平台降低了 36.49% 的成本，节约了 27.87% 的时间。在表 5 所示的严重受灾城市供需点对应急物资配送路径流向中，以需求点 1 为例，在传统的应急物流模式中，其接收的物资分别为物资供应方 2 通过集配中心 2 的第 2 辆车运输的应急物资、物资供应方 3 通过集配中心 2 的第 2 辆车运输的应急物资及物资供应方 4 通过集配中心 1 的第 2 辆车运输的应急物资；而在应急物流云平台中，需求点 1 能直接接收由物资供应方 2、3、4 发出的应急物资，无须经由集配中心中转。

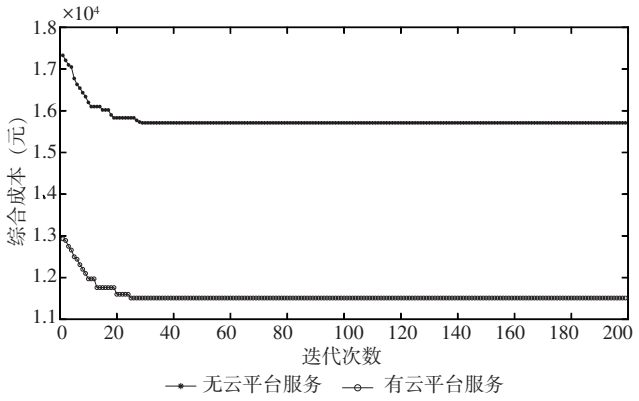

图 5　严重受灾城市的综合成本

表 5　严重受灾城市的应急物流配送路径（括号内数值为集配中心的车辆编号）

无云平台服务			有云平台服务		
物资供应方	需求点	路径流向	物资供应方	需求点	路径流向
2	1	2→2→1(2)	2	1	2→1
3	1	3→2→1(2)	3	1	3→1
4	1	4→1→1(2)	4	1	4→1
1	2	1→3→2(2)	1	2	1→2
3	2	3→4→2(2)	3	2	3→2
2	3	2→1→3(3)	2	3	2→3
3	3	3→1→3(1)	3	3	3→3
1	4	1→4→4(3)	1	4	1→4
2	4	2→1→4(3)	2	4	2→4
4	4	4→3→4(2)	4	4	4→4
2	5	2→2→5(3)	2	5	2→5
4	5	4→3→5(2)	4	5	4→5
1	6	1→3→5(2)	1	6	1→5
3	6	3→4→6(3)	3	6	3→6
4	6	4→2→6(3)	4	6	4→6
2	7	2→1→7(2)	2	7	2→7
1	8	1→1→8(1)	1	8	1→8
3	8	3→1→8(1)	3	8	3→8

(二)基于云平台的一般受灾城市应急物流优化

将某一一般受灾城市中的主要车站、物流园区选为本案例的物资供应方节点;将该一般受灾城市的红十字会、政府相关部门等选为本案例的集配中心节点;将该一般受灾城市的三家主要医院选为本案例的需求点节点。该应急物流模式中各节点的相关数据见表6。

在一般受灾城市应急物流模式中,物资供应方、集配中心、需求点各节点之间的距离见表7。

除以上数据外,本文假设在各节点开设期间,一般受灾城市应急物流模式中各供应点与需求点间的应急物资流通量见表8。

表6 一般受灾城市的物资数据

参数名称	参数符号	数值	参数名称	参数符号	数值
每台车辆运输能力	Q_k(吨)	100	集配中心运输车辆数目	K	3
集配中心1物资容量	G_1(吨)	150	物流配送速度	v(千米/小时)	60
集配中心2物资容量	G_2(吨)	120	需求点1所需应急物资量	S_1(吨)	130
集配中心3物资容量	G_3(吨)	100	需求点2所需应急物资量	S_2(吨)	120
物资供应方1发出应急物资量	D_1(吨)	130	需求点3所需应急物资量	S_3(吨)	140
物资供应方2发出应急物资量	D_2(吨)	120	集配中心装卸处理成本	C_n(元)	100
物资供应方3发出应急物资量	D_3(吨)	100	集配中心装卸处理时间	T_n(小时)	0.5
物资供应方4发出应急物资量	D_4(吨)	90	传统配送模式交易成本	H(元)	300
单位运输配送成本	c_{ijkn}(元/千米)	7			

表7 一般受灾城市各点间距离

距离(千米)	集配中心1	集配中心2	集配中心3
物资供应方1	35.8	19.8	15.7
物资供应方2	32.5	8.7	9.3
物资供应方3	77.2	46.8	56.1
物资供应方4	29.8	21.3	21.7
需求点1	44.4	9.8	8.0
需求点2	33.1	12.5	9.5
需求点3	33.9	9.3	7.7

表8 一般受灾城市中供需点对的应急物资流通量

流通量(吨)	物资供应方1	物资供应方2	物资供应方3	物资供应方4
需求点1	0	100	0	80
需求点2	90	0	120	130
需求点3	130	100	80	0

经过计算后,得到了如图6所示的一般受灾城市的综合成本及表9所示的一般受灾城市应急物流方案。在本案例中,一般受灾城市传统的应急物流模式的最优综合成本为9310元,救援时间为7.36小时;应急物流云平台最优综合成本为7410元,救援时间为5.08小时,即通过云平台降低了20.41%的成本,节约了30.86%的时间。

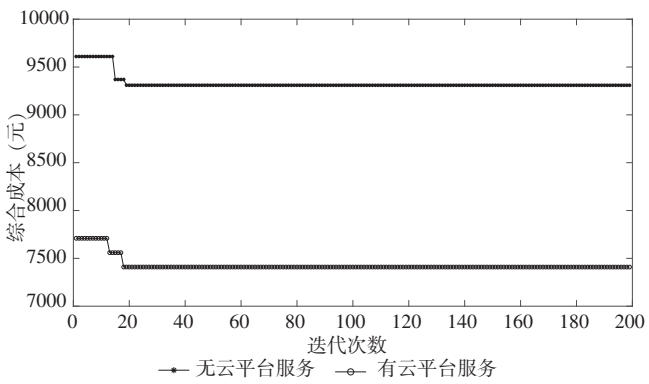

图6 一般受灾城市的综合成本

(三)基于云平台的轻微受灾城市应急物流优化

将某一轻微受灾城市的主要车站、物流园区选为本案例的物资供应方节点;将该轻微受灾城市的红十字会、政府相关部门选为本案例的集配中心节点;将该轻微受灾城市的两家主要医院选为本案例的需求点节点。该应急物流模式中各节点的相关数据见表10。

表9　一般受灾城市的应急物流配送路径

无云平台服务			有云平台服务		
物资供应方	需求点	路径流向	物资供应方	需求点	路径流向
2	1	2→3→1(1)	2	1	2→1
4	1	4→2→1(2)	4	1	4→1
1	2	1→2→2(3)	1	2	1→2
3	2	3→1→2(2)	3	2	3→2
4	2	4→2→2(1)	4	2	4→2
1	3	1→3→3(2)	1	3	1→3
2	3	2→3→3(3)	2	3	2→3
3	3	3→2→3(2)	3	3	3→3

表10　轻微受灾城市的物资数据

参数名称	参数符号	数值	参数名称	参数符号	数值
每台车辆运输能力	Q_k(吨)	100	集配中心运输车辆数目	K	3
集配中心1物资容量	G_1(吨)	100	物流配送速度	v(千米/小时)	60
集配中心2物资容量	G_2(吨)	100	需求点1所需应急物资量	S_1(吨)	130
物资供应方1发出应急物资量	D_1(吨)	120	需求点2所需应急物资量	S_2(吨)	120
物资供应方2发出应急物资量	D_2(吨)	120	集配中心装卸处理时间	T_n(小时)	0.5
集配中心装卸处理成本	C_n(元)	100	传统配送模式交易成本	H(元)	300
单位运输配送成本	c_{ijkn}(元/千米)	7			

在轻微受灾城市应急物流模式中,物资供应方、集配中心、需求点各节点之间的距离见表11。

除以上数据外,本文假设在各节点开设期间,轻微受灾城市应急物流模式中各供应点与需求点间的应急物资流通量见表12。

在经过计算后,得到了如图7所示的轻微受灾城市的综合成本及表13所示的轻微受灾城市应急物流方案。在本案例中,轻微受灾城市传统的应急物流模式的最优综合成本为3600元,救援时间为3.13小时;应急物流云平台最优综合成本为2700元,救援时间为1.88小时,即通过云平台降低了25.00%的成本,节约了39.74%的时间。

表11　轻微受灾城市各点间距离

距离(千米)	集配中心1	集配中心2
物资供应方1	7.7	11.2
物资供应方2	25.0	26.3
需求点1	3.6	7.8
需求点2	2.9	5.5

表12　轻微受灾城市中供需点对的应急物资流通量

流通量(吨)	物资供应方1	物资供应方2
需求点1	100	0
需求点2	90	110

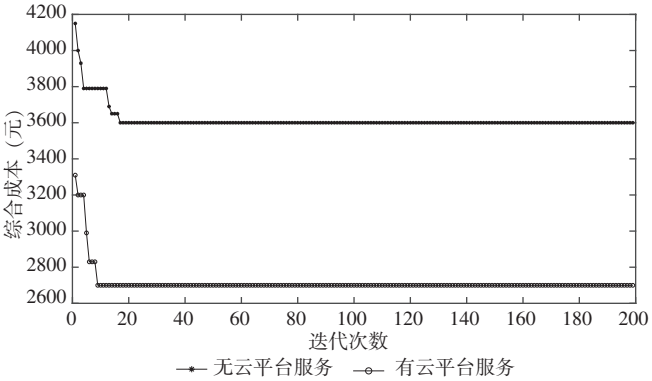

图7　轻微受灾城市的综合成本

(四)灵敏度分析

综上所述,由于物资需求量、路径连通等因素的不同导致了不同城市综合成本、配送路径的不同。随着受灾程度的提升,城市对应急物资的需求增多,运输的成本增加。多次测试后发现单位运输成本c_{ijkn}、装卸处理成本C_n对物流配送效益影响较为明显,为进一步验证这些因素对应急物流云平台综合成本的影响,本文在保证其他参数不变的基础上,依次改变c_{ijkn}、C_n的值,探究这些参数的对不同受灾程度城市综合成本的影响,以此检验公共安全事件下应急物流配送的稳定性,最终结果见表14。

通过表14中不同参数变化对应急物流模式的灵敏度分析可以看出:①在本文所涉及的三种受灾程度不同的城市中,单位运输成本对于应急物流模式综合成本的影响最大;②随着应急程度的加剧(需求点数目的增多),单位运输成本对于应急物流模式综合成本的影响递减,装卸处理成本对于应急物流模式综合成本的影响递增;③云平台能对应急物流模式的综合成本起到很好地优化作用,且效果随着受灾程度的加剧而增

加;④在对单位运输成本、装卸处理成本两个参数进行灵敏度分析的过程中,尽管应急物流的综合成本随着参数的变化而产生了一定的波动,但是物资分配过程中的配送路径与运输时间均没有改变,这说明该分配模式具有稳定性,能使应急物资分配达到最优。综上所述,云平台能稳定优化应急物流配送路径。

表13 轻微受灾城市的应急物流配送路径

无云平台服务			有云平台服务		
物资供应方	需求点	路径流向	物资供应方	需求点	路径流向
1	1	1→2→1(1)	1	1	1→1
1	2	1→2→2(3)	1	2	1→2
2	2	2→2→2(1)	2	2	2→2

表14 不同城市应急物流配送的灵敏度分析

	参数	数值	严重受灾城市		一般受灾城市		轻微受灾城市	
			成本(元)	变化率(%)	成本(元)	变化率(%)	成本(元)	变化率(%)
无云平台服务	c_{ijkn}	3.5	11755	−25.18	6405	−31.20	2550	−29.17
		7	15710	/	9310	/	3600	/
		14	23620	+50.35	15120	+62.41	5700	+58.33
	C_n	50	12110	−22.92	7710	−17.19	3000	−16.67
		100	15710	/	9310	/	3600	/
		200	22910	+45.83	12510	+34.37	4800	+33.33
有云平台服务	c_{ijkn}	3.5	7555	−34.36	4505	−39.20	1650	−38.89
		7	11510	/	7410	/	2700	/
		14	19420	+68.72	13220	+78.41	4800	+77.78
	C_n	50	9710	−15.64	6610	−10.80	2400	−11.11
		100	11510	/	7410	/	2700	/
		200	15110	+31.28	9010	+21.59	3300	+22.22

五、结论

物流在应急物资的分配中发挥着重要的作用。本文设计了一个用于应急配送路径优化的云平台,通过建立城市应急物资分配路径优化模型,有效地优化了公共安全事件下的物资配送路径、减少了应急物流的时间与成本。

尽管本文在一定程度上对基于云平台的应急物资配送路径、时间、成本进行了优化,但研究的成果仍有所不足。未来的研究可以考虑从以下三个方面进行改进:①进一步探究基于云平台应急物资配送的最优成本与最短时间之间的多目标优化;②在应急物流中考虑逆向物流的情况,从更全面的范围内优化应急物流路径;③结合各个国家、地区的实际医疗情况对基于云平台的应急物流路径进行更深层次的探索。

参考文献

[1] 段进, 杨保军, 周岚, 等, 2020. 规划提高城市免疫力——应对新型冠状病毒肺炎突发事件笔谈会[J]. 城市规划, 44(2): 115-136.

[2] 何勇, 任丽丽, 2013. 基于4PL逆向物流整合的供应链管理模式[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 15(4): 41-45, 134-135.

[3] 胡卿汉, 何娟, 董青, 2020. 区块链架构下医用防疫紧急物资供应信息管理研究——以我国新型冠状病毒肺炎防疫物资定向捐赠为例[J]. 卫生经济研究, 37(4): 10-14.

[4] 胡晓伟, 宋浪, 杨滨毓, 等, 2020. 重大突发公共卫生事件下城市应急医疗物资优化调度研究[J]. 中国公路学报, 33(11): 55-64.

[5] 胡忠君, 2018. 城市洪涝灾害应急物资调度与运输优化研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学.

[6] 李翠平, 2017. O2O运作模式下生鲜品同城配送路径研究[D]. 大连: 大连海事大学.

[7] 李佳, 2018. 基于大数据云计算的智慧物流模式重构[J]. 中国流通经济, 33(2): 20-29.

[8] 李宁, 2020. 新型冠状病毒肺炎疫情应急供应链协同管理研究[J]. 卫生经济研究, 37(4): 7-9.

[9] 李旭东, 王耀球, 王芳, 2020. 突发公共卫生事件下基于区块链应用的应急物流完善研究[J]. 当代经济管理, 42(4): 57-63.

[10] 刘长石, 寇纲, 2015. 震后应急物流系统中的定位-路径问题[J]. 系统工程, 33(9): 63-67.

[11] 卢冰原, 吴义生, 黄传峰, 2013. 物联网环境下的城市逆向应急物流联合体协作平台研究[J]. 科技管理研究, 33(17): 220-226.

[12] 吕婧，张衍晗，庄玉良，2020. 公共卫生危机下基于智慧物流的应急物流能力优化研究[J]. 中国软科学(S1)：16-22.
[13] 潘婷，2019. 突发事件下应急医疗物资配送问题研究[D]. 西安：西安工程大学.
[14] 王杰，张洪潮，王郁，2019. 物流全域云平台阶梯式风险管理机制研究[J]. 管理现代化，39(3)：105-108.
[15] 王品悦，2017. 基于价值链协同的政府采购云信息服务范式研究[D]. 天津：天津大学.
[16] 王妍妍，孙佰清，2019. 多受灾点应急物资动态多阶段分配模型研究[J]. 中国管理科学，27(10)：138-147.
[17] 王玥丹，2014. 生鲜品配送路径优化[D]. 长沙：长沙理工大学.
[18] 薛星群，王旭坪，韩涛，等，2020. 考虑通行约束和运力限制的灾后应急物资联合调度优化研究[J]. 中国管理科学，28(3)：21-30.
[19] 杨帆，许莹，段宁，2021. 城市洪涝韧性治理体系的智慧化转型与实现路径创新[J]. 城市发展研究，28(5)：119-126.
[20] 余佳，王维莉，韩新，等，2019. 考虑逆向物流的应急物资配置流程SPN建模分析[J]. 中国安全生产科学技术，15(4)：12-18.
[21] 袁紫微，2019. 基于改进遗传算法的冷链物流路径优化[J]. 山东工业技术(10)：216.
[22] 周霞，2020. 突发事件下跨区域综合交通运输网应急调度研究[D]. 成都：西南交通大学.
[23] 朱莉，郭豆，顾珺，等，2017. 面向重大传染病疫情的应急物资跨区域协同调配动力学研究——以长三角联防联控抗甲型H1N1流感疫情为例[J]. 系统工程，35(6)：105-112.
[24] ARULPRAKASH M，JEBAKUMAR R，2021. People-centric collective intelligence：Decentralized and enhanced privacy mobile crowd sensing based on blockchain[J]. The Journal of Supercomputing，77：12582-12608.
[25] BALCIK B，BEAMON B M，SMILOWITZ K，2008. Last mile distribution in humanitarian relief[J]. Journal of Intelligent Transportation Systems，12(2)：51-63.
[26] CHEN C Y，TU J F，2013. A novel cloud computing algorithm of security and privacy[J]. Mathematical Problems in Engineering(2013)：1-6.
[27] CHU Z F，FENG B F，LAI F J，2018. Logistics service innovation by third party logistics providers in China：Aligning guanxi and organizational structure[J]. Transportation Research Part E：Logistics and Transportation Review，118：291-307.
[28] FU D Q，HU S B，ZHANG L T，et，al，2021. An intelligent cloud computing of trunk logistics alliance based on blockchain and big data[J]. The Journal of Supercomputing(2021)：1-16.
[29] GAO Z G，WANG Y H，ZOU H，2021. Intelligent circulation system modeling using bilateral matching theory under internet of things technology[J]. The Journal of Supercomputing，77：13514-13531.
[30] GARRIDO R A，LAMAS P，PINO F J，2015. A stochastic programming approach for floods emergency logistics[J]. Transportation Research Part E：Logistics and Transportation Review，75：18-31.
[31] GOVINDAN K，CHENG T C E，MISHRA N，et al，2018. Big data analytics and application for logistics and supply chain management[J]. Transportation Research Part E：Logistics and Transportation Review，114(2018)：343-349.
[32] HU Z H，SHEU J B，2013. Post-disaster debris reverse logistics management under psychological cost minimization[J]. Transportation Research Part B：Methodological，55：118-141.
[33] JIANG J C，CHEN J S，WANG C S，2020. Multi-granularity hybrid parallel network simplex algorithm for minimum-cost flow problems[J]. The Journal of Supercomputing，76(12)：9800-9826.
[34] LIU W H，XU H T，SUN X Y，et al，2013. Order allocation research of logistics service supply chain with mass customization logistics service[J]. Mathematical Problems in Engineering(2013)：1-13.
[35] LIU Y J，GUO B，2014. A lexicographic approach to postdisaster relief logistics planning considering fill rates and costs under uncertainty[J]. Mathematical Problems in Engineering(2014)：1-17.
[36] SHAFQAT S，KISHWER S，RASOOL R U，et al，2018. Big data analytics enhanced healthcare systems：A review[J]. The Journal of Supercomputing，76(3)：1754-1799.
[37] SUN Y Q，REN Y Q，CAI X J，2020. Biobjective emergency logistics scheduling model based on uncertain traffic conditions[J]. Mathematical Problems in Engineering(2020)：1-15.
[38] WANG H C，MA X Y，2021. Research on multiobjective location of urban emergency logistics under major emergencies[J]. Mathematical Problems in Engineering(2021)：1-12.
[39] WANG N N，FAN Z P，WANG X H，2016. Channel coordination in logistics service supply chain considering fairness[J]. Mathematical Problems in Engineering(2016)：1-15.
[40] WEI H，LEE P T，2021. Designing a coordinated horizontal alliance system for China's inland ports with China railway express platforms along the Silk Road Economic Belt[J]. Transportation Research Part E：Logistics and Transportation Review，147(2021)：1-21.
[41] WU J X，WANG Y H，2021. Distribution of the emergency supplies in the COVID-19 pandemic：A cloud computing based approach[J]. Mathematical Problems in Engineering(2021)：1-18.
[42] XU L，TU Y L，ZHANG Y T，2020. A grasshopper optimization-based approach for task assignment in cloud logistics[J].

Mathematical Problems in Engineering(2020): 1-10.
[43] YANG M F, LIN Y, LI H S, et al, 2016. An integrated multiechelon logistics model with uncertain delivery lead time and quality unreliability[J]. Mathematical Problems in Engineering(2016): 1-13.
[44] ZHU C F, ZHANG Z K, MA C X, 2017. Research on emergency logistics dynamic network based on super-network[J]. Latin American Applied Research, 47(1-2): 11-16.

Research on Emergency Logistics Path Optimization of Public Safety Incidents Based on the Cloud Platform

Wang Yinghui, Wu Jixiao
(School of Economics and Management, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhaung 050043, China)

Abstract: Public safety incidents happen suddenly, serious harm, often causing numerous losses of life and property. The containment of public safety incidents is significantly affected by the unbalanced distribution of emergency supplies, low coordinated transport efficiency, high costs, and the inability of non-profit organizations to handle the emergency supplies efficiently. Based on the experience of COVID-19 and Henan Flood, a cloud platform for emergency supplies distribution was built to reduce the asymmetry of emergency logistics information, reduce the costs, and improve the efficiency of emergency supplies distribution. The proposed method uses a genetic algorithm with the monarch scheme to optimize the urban emergency logistics path. The numerical results for sample networks show that using the proposed platform reduces the integrated cost and transportation time, finds the optimal distribution path and has good stability.

Keywords: cloud platform; emergency logistics; path optimization; genetic algorithm; public safety incident

(本卷终)