

中文引用格式:杨倩,王飞跃,王籽幻,等. 基于文献计量分析的应急物资调度研究综述[J]. 中国安全科学学报,2025,35(3):232-241.  
英文引用格式:YANG Qian, WANG Feiyue, WANG Zihuan, et al. Review of emergency supplies scheduling based on bibliometric analysis[J]. China Safety Science Journal,2025,35(3):232-241.

## 基于文献计量分析的应急物资调度研究综述\*

杨倩,王飞跃\*\*教授,王籽幻,马波,卢佳节  
(中南大学 防灾科学与安全技术研究所,湖南长沙 410075)

中图分类号:X915.1 文献标志码:A DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.03.0680  
基金项目:长沙理工大学道路灾变防治及交通安全教育部工程研究中心开放基金资助(kfj220402);中南大学研究生自主探索创新项目(2024ZZTS0476)。

**【摘要】** 为探究应急物资调度问题的研究动态、研究热点和前沿趋势,以中国知网(CNKI)和科学网(WOS)为数据来源,搜索筛选出321篇中文文献和497篇英文文献,采用文献计量和知识图谱可视化软件,开展动态基本特征分析和发展趋势分析。研究表明:国内外应急物资调度研究的发文量呈波浪形增长,总体处于研究的快速发展阶段;国内核心作者团队合作密度较小,而国际视野中跨国跨区域学术交流频繁,以中国、加拿大和新加坡为核心;国内外研究重点基本一致,主要围绕模型设计、优化算法、路径选址等问题,但国际上对于灾民心理感知的研究更早更深入。

**【关键词】** 文献计量; 应急物资调度; 应急救援; 研究热点; 优化算法

### Review of emergency supplies scheduling based on bibliometric analysis

YANG Qian, WANG Feiyue, WANG Zihuan, MA Bo, LU Jiajie

(Institute of Disaster Prevention Science and Safety Technology, Central South University,  
Changsha Hunan 410075, China)

**Abstract:** To investigate the research dynamics, hotspots, and frontier trends in the field of emergency supplies scheduling, the data sources of China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and Web of Science (WoS) were used to search and filter 321 Chinese and 497 English articles. The bibliometric and knowledge mapping software were used to conduct basic feature analysis and development trend analysis. The results show that the number of articles in the field of emergency supplies scheduling both domestically and internationally has a wavy growth. The overall research is in the rapid development stage. In domestic core author teams, there is relatively low collaboration density. While in international contexts, cross-national and cross-regional academic exchanges are frequent, with China, Canada, and Singapore serving as the core. The research focus of both domestic and international studies is basically the same, mainly revolving around model design, optimization algorithms, path location issues, etc. However, international research has been earlier and more in-depth in studying the psychological perception of disaster victims.

**Keywords:** emergency supplies scheduling; emergency rescue; research hotspots; bibliometrics; optimization algorithms

\* 文章编号:1003-3033(2025)03-0232-11; 收稿日期:2024-10-11; 修稿日期:2024-12-14

\*\* 通信作者:王飞跃(1977—),男,重庆人,博士,教授,主要从事城市公共安全与应急管理方面的研究。E-mail:wfy@csu.edu.cn。

## 0 引言

近年来,自然灾害(地震、洪水等)与重大公共卫生事件(非典、禽流感、H1N1 流感病毒、新型冠状病毒感染疫情等)频繁发生,具有突发性和破坏性,给整个社会安全带来严重威胁,包括居民财产的损失、人员的伤亡、环境的破坏等<sup>[1-2]</sup>。应急物资作为灾后救援工作的重要保障,可最大程度地削弱突发事件对社会生产、生活秩序的冲击,降低由于救援物资供应不及时导致群众的伤亡及二次伤害<sup>[3]</sup>。为此,国家先后出台《中华人民共和国突发事件应对法》《“十四五”国家应急体系规划》《“十四五”国家综合防灾减灾规划》和《“十四五”应急物资保障规划》等,明确提出要完善应急物资调配模式,提升应急物资运送能力,优化应急物资发放方式。因此,梳理分析应急物资调度研究动态的基本特征和发展趋势具有重要的现实意义。

一旦发生突发事件,应急救援往往在短期内需要大量生活、医疗等应急物资,以应对事件所带来的医疗救助、卫生防疫、生产生活 and 灾后重建等问题<sup>[4-6]</sup>。而现实中的应急物资调度又面临紧张的物资流和运输流双重压力,如何在有限的时间、空间和资源约束下科学合理地将应急物资从应急救援设施点运往需求点,满足受灾地区群众的需求是应急救援工作中的重中之重<sup>[7]</sup>。因此,笔者系统性地搜索

筛选了应急物资调度相关中英文文献,采用文献计量和知识图谱可视化软件相结合的方法,对比分析了国内外 2000—2023 年应急物资调度研究动态的基本特征和发展趋势。以期准确掌握该领域的研究方向和文献增长趋势,梳理相关文献当下研究热点,探索应急物资调度问题未来的前沿发展。

## 1 文献计量检索与分析方法

### 1.1 数据来源及预处理

应急物资调度问题涉及交通科学、管理科学和计算机科学等多个学科,是一个多学科相互交融的交叉领域。文献计量采用搜索和筛选方法,如图 1 所示。以中国知网(China National Knowledge Infrastructure, CNKI)和科学网(Web of Science, WoS)作为中英文文献的检索平台,通过元搜索、纳入标准、文献选择、标题筛选、全文分析等步骤搜索和筛选文献。确定 CNKI 检索主题为“应急物资运输+应急物资调度+应急物资配送+应急车辆路径”,WoS 检索主题为“Transport of emergency materials+Emergency materials dispatching+Emergency materials distribution+Emergency vehicle routing”。选取 2000—2023 年发表的非综述类期刊文献,通过限制期刊来源、阅读文献标题、摘要和全文,控制文献质量,排除与主题无关内容,最终确定有效中英文文献分别为 321 篇(CNKI),497 篇(WoS)。

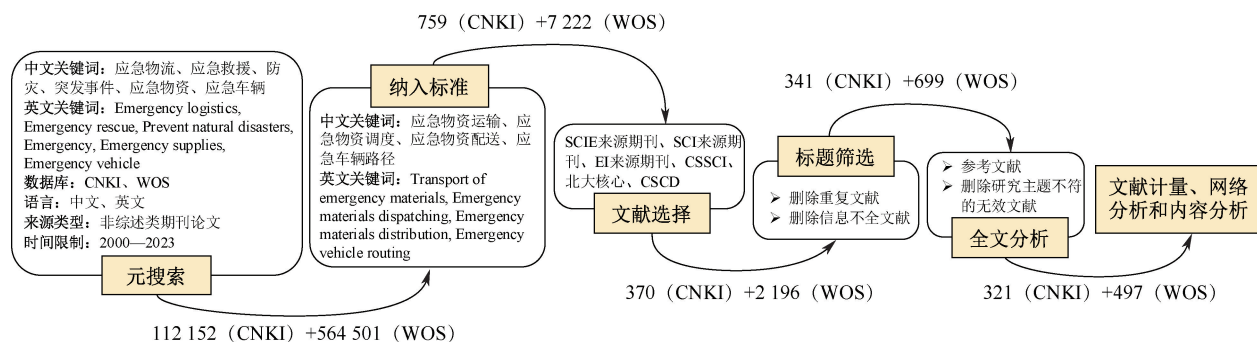


图 1 文献搜索筛选方法

Fig. 1 Methods of searching and screening literature

### 1.2 分析方法框架

近年来,文献计量学的科学发展为定量分析研究方向基本特征和发展趋势提供了强有力的工具<sup>[8]</sup>。知识图谱作为文献计量学的新方法,具有“图谱”双重性质,显示了复杂知识单元之间的互动、交叉、网络等关系。知识图谱可视化技术能通过

研究对象出现的频次揭示一定时期内一个学科或领域的研究热点和动向<sup>[9]</sup>。笔者采用分析方法框架如图 2 所示,结合文献计量法和知识图谱可视化(Cite Space 软件、VOS viewer 软件)方法,针对应急物资调度研究动态的基本特征和发展趋势进行分析。

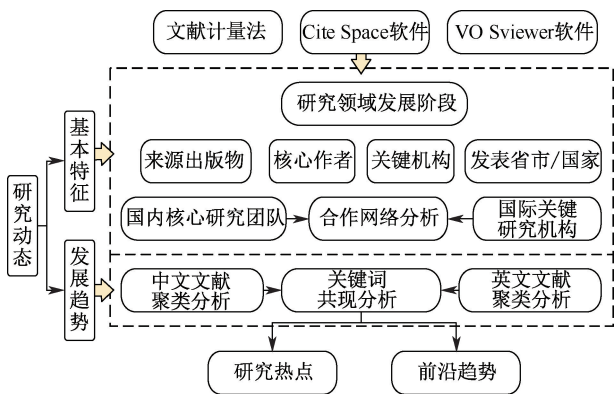


图2 分析方法框架

Fig. 2 Framework of analytical methods

## 2 应急物资调度研究动态特征分析

### 2.1 发展阶段特征

应急物资调度相关研究的文献数量是该领域研究实力的重要参数。对比分析国内外文献逐年发文章量和累计发文章量,可从时间层面上体现该研究领域的发展速度、发展阶段和未来趋势。2000—2023年应急物资调度相关研究发表及趋势如图3所示。由图3可知:应急物资调度相关的国内外文献数量逐年递增,从2000—2023年整个时间段来看,累计发文章量呈现波浪形增长态势,期间有多个增长幅度较大的时间节点,2013年累计发文章量的同比增长率到达顶峰(187.5%)。考虑相关政策文件、发文章数量变化和全球现实突发事件的时间节点,应急物资调度研究领域的发展历程大致划分为3个阶段。

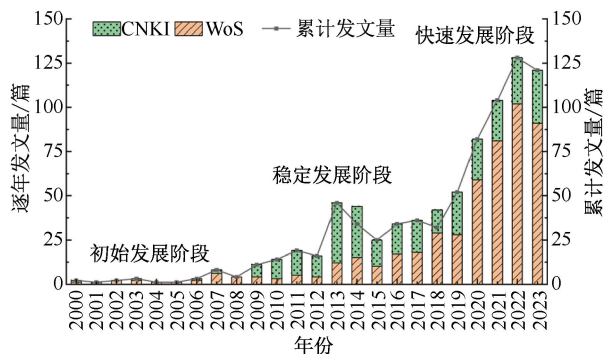


图3 2000—2023年应急物资调度相关研究发表及趋势

Fig. 3 Trends in research publications related to emergency supplies scheduling during 2000—2023

1) 2000—2006年为初始发展阶段,国内外发文章量较少,研究内容较为单一。国内学者戴更新等<sup>[10]</sup>提出多资源组合应急调度问题,为后续应急物资紧急调度的时效性研究开辟了新道路,而国外研

究主要集中于动态车辆路线调度、应急响应方法框架和灾害背景下的交通规划。

2) 2007—2018年为稳定发展阶段,针对应急物资调度问题,国内外学者不断结合现实突发事件和实际应急救援情况,将应急物资调度问题从不同角度引申为应急物资配送问题、应急物资运输问题和应急车辆路径问题等<sup>[11]</sup>。2013年国内发文章量剧增主要与国家发布的相关政策增多有关,如《自然灾害救助条例》《中央救灾物资储备库管理暂行办法》《突发事件应急预案管理办法》等。而此阶段国外的应急物资调度研究主要考虑突发事件下人们的心理感应,供应链下的人道主义应急物流得到大力发展,成为研究热点<sup>[12-13]</sup>。

3) 2019—2023年为快速发展阶段,国内外的研究内容呈现多元化,应急物资调度问题逐步开始从单目标到多目标、单约束到多约束、单一算法到综合算法、单层理论到多层理论以及静态调度到动态调度的过程转变<sup>[14-15]</sup>。

### 2.2 期刊作者特征

梳理2000—2023年国内外应急物资调度领域的相关文献,得到中英文文献发文章量最多的排名前10期刊,如图4所示。中文期刊主要聚焦于安全科学和灾害防治、经济管理、交通运输、行政管理等研究领域,安全领域的《中国安全科学学报》发文章量高,达24篇,位居第一;其次管理领域的《中国管理科学》、《运筹与管理》和《系统工程》发文章量也较高,而计算机领域的《计算机工程与应用》和《计算机应用研究》同样也是众多国内学者的选择。国际期刊中针对应急物资调度问题涉及的研究领域较广,发文章量排名前3的期刊为 *Sustainability*、*IEEE Access*、*International Journal of Disaster Risk Reduction*, 研究主题分别为可持续性发展、电子信息系统和防灾减灾,发文章量仅占英文文献总发文章量的11.1%,说明国际期刊对于应急物资调度问题没有形成较为集中的聚类,发表的期刊较为分散。

研究领域发文章量是体现作者和研究机构科研实力的重要参数,根据研究领域内最高产的作者和研究机构可以圈定该领域核心作者及关键研究机构的范围。在应急物资调度领域中文与英文发文章量排名前10的作者和研究机构见表1和表2。发现中文文献和英文文献的核心作者没有相同,但其研究机构有部分重合,如武汉理工大学和上海海事大学的中文文献和英文文献发文章量都排名前10位,表明它们在国内和国际应急物资调度领域均属于关键研究

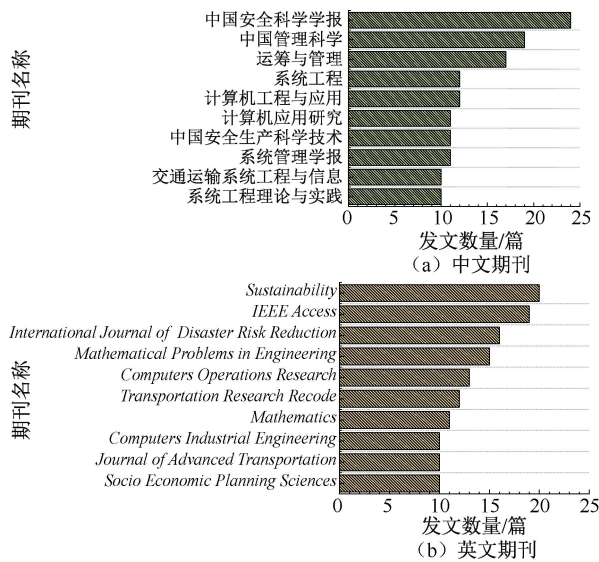


图 4 中文期刊和英文期刊发文量排名前 10 的期刊

Fig. 4 Top 10 journals in terms of publications in Chinese journals and English journals

机构。而一些发文量较高的学者也集中于几家研究机构,如常春光属于沈阳建筑大学、BOZORGI-AMIR 来自德黑兰大学。

表 1 发文量排名前 10 的作者

Table 1 Top 10 authors in terms of publications

排名	作者 (中)	发文量/篇	作者 (英)	发文量/篇
1	常春光	10	HOU Hanping	6
2	马祖军	10	REN Xiangyang	5
3	刘长石	10	LAI K K	5
4	宋晓宇	8	VAHDANI B	4
5	李双琳	7	GENG Shaoqing	4
6	郑斌	7	BOZORGI-AMIRI A	4
7	杜丽敬	7	ALEM D	3
8	宋英华	6	COZZANI V	3
9	吕伟	6	HEARNE J	3
10	王军	6	YE Yong	3

表 2 发文量排名前 10 的研究机构

Table 2 Top 10 research organizations in terms of publications

排名	机构 (中)	发文量/篇	机构 (英)	发文量/篇
1	西南交通大学	28	Beijing Jiaotong University	14
2	武汉理工大学	16	Islamic Azad University	13
3	沈阳建筑大学	12	Harbin Institute of Technology	10

续表 2

排名	机构 (中)	发文量/篇	机构 (英)	发文量/篇
4	上海海事大学	11	Wuhan University of Technology	10
5	大连海事大学	11	Hebei University of Engineering	9
6	华中科技大学	10	National University of Defense Technology China	9
7	安徽工业大学	9	University of Tehran	9
8	重庆交通大学	8	University of Toronto	9
9	西安交通大学	8	Shanghai Maritime University	8
10	湖南工商大学	8	Dalian University of Technology	7

根据发文的研究机构所在区域分析得到发文量占比排名前 10 的省市/国家,见表 3。国内各省市的发文量占比相差不大,超过 5%的有四川、辽宁、湖北、上海和江苏。而在英文文献中,中国以 47.3%的发文量占比位居第 1,与表 1 和表 2 中的结果相一致,中国学者和中国研究机构在英文发文量排名前 10 的核心作者和研究机构中分别占据 40%、70%,说明中国在国际应急物资调度研究领域已成为中坚力量。

表 3 发文量占比排名前 10 的省市/国家

Table 3 Top 10 provinces/cities/countries in terms of percentage of articles published

排名	省市	占比/%	国家	占比/%
1	四川	10.6	中国	47.3
2	辽宁	9.7	美国	17.7
3	湖北	8.1	伊朗	7.0
4	上海	7.5	加拿大	6.0
5	江苏	6.5	澳大利亚	4.2
6	安徽	2.8	英国	4.2
7	重庆	2.5	法国	3.6
8	湖南	2.5	印度	3.4
9	陕西	2.5	意大利	3.4
10	甘肃	2.5	巴西	2.4

### 2.3 合作网络特征

合作网络特征分析是快速了解研究领域中具有影响力的核心团队和跨国家、跨区域、跨机构之间合作情况的定量分析方法,有利于促进研究领域内人才的互利合作及学术交流<sup>[16]</sup>。采用 Cite Space 软件分析开展应急物资调度研究的国内作者合作图谱和

国际研究机构合作图谱,为使图谱简洁美观又保留基本合作网络特征,选取规模前5的聚类进行呈现,如图5和图6所示。

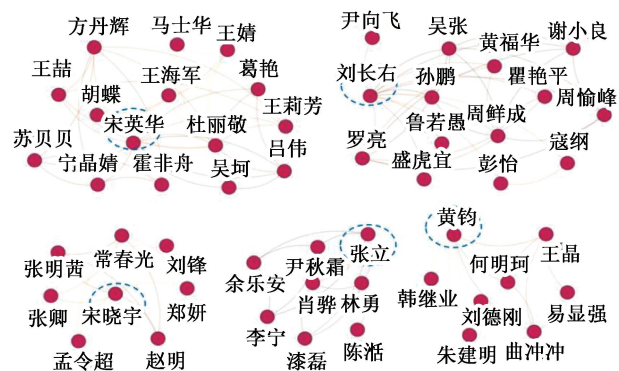


图5 国内应急物资调度领域核心研究团队  
Fig. 5 Core research team in field of domestic emergency supplies scheduling

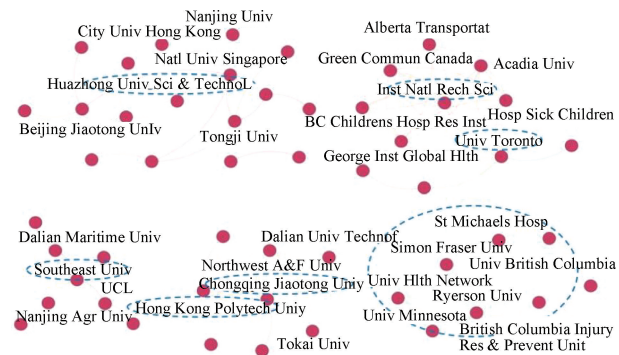


图6 国际应急物资调度领域关键研究机构  
Fig. 6 Key research institutions in field of international emergency supplies scheduling

由图5可知:5个聚类中连线数最多的核心人物分别是武汉理工大学的宋英华、湖南工商大学的刘长石、沈阳建筑大学的宋晓宇、重庆财经学院的张立和中国科学院大学的黄钧。聚类中节点数最多的是以宋英华为核心的研究团队,其研究方向交叉多元且深入。2014—2023年,针对各场景下的应急设施选址、应急物资分配、应急车辆路径问题在核心期刊上发表了大量文献,研究方向涵盖应急物资储备、分配、调度等多个环节<sup>[17]</sup>。其次规模较大的合作网络是以刘长石为核心的研究团队,研究领域发文时间分布在2009—2023年,主要聚焦于地震后期应急物资配送的定位—路径联合优化问题<sup>[18]</sup>,延申了时变路网场景、卡车-无人机协同配送、应急物资配送干扰管理等研究方向。聚类规模第3的合作网络是以宋晓宇为核心的研究团队,由于团队成员分布于信息与工程学院、管理学院等多个学科,发表文

献多为计算机科学与管理科学深度融合的研究,致力于运用智能优化算法、图像处理、管理信息系统等方法可视化和高效管理应急物资调度,提高其效率和准确性<sup>[19]</sup>。然而观察图5发现,国内应急物资调度研究前5团队的5个聚类之间互不关联,与同一研究机构之外的其他作者合作强度低,缺乏研究机构、院校之间的交流合作,尚未形成较大规模的学术合作网络。由图6可知:国际应急物资调度领域前5个研究机构聚类中分别以华中科技大学、中国科学院、多伦多都会大学、重庆交通大学、东南大学为核心,此外多伦多大学、西蒙弗雷泽大学和香港理工大学等也发挥着重要作用。华中科技大学、中国科学院等国内机构与多伦多都会大学、多伦多大学等国外机构之间存在一定的合作关系,但各聚类之间的合作紧密程度有所差异。华中科技大学为核心的聚类与部分国外机构的合作连线相对较多,而其他聚类在跨国合作方面的表现各有不同。整体来看,国内外研究机构节点间的联系较为紧密,中国、加拿大、新加坡等机构院校跨国跨区域学术交流频繁。

### 3 研究动态发展趋势

关键词是整篇文献的高度概括,来源于文献主题、摘要、高频词或短语等。通过关键词的出现频次、出现时间和相互关联程度等能够纵向、横向分析研究方向的发展历程,反映当前领域不同时期的研究热点、变化节奏、保持时间等特征。运用VOS viewer软件,将搜索筛选后的321篇CNKI文献和497篇WoS文献分别导入,选取频次在3次以上的关键词进行共现分析,研究对象关键词表现为节点,节点大小与出现频次呈正相关关系,节点之间的连线则表示两者存在共现关系。中英文文献共现图谱网络如图7和图8所示。

研究发现,中文文献关键词共现图一共出现83个关键词节点,出现频次前10的关键词分别是应急物流、应急物资、遗传算法、应急物资调度、多目标优化、物资调度、应急物资配送、路径优化、应急调度、应急救援,被认为是国内该领域的研究热点。图7中VOS viewer软件将关键词划分为4个聚类,聚类间区分度较小,说明国内研究百花齐放,各聚类间相互区别又相互包含。

聚类1:应急物流,包括遗传算法、路径优化和应急救援等28个关键词。应急物流是指为应对突发事件对应急物资、应急组织和资金需求而从事的特殊物流活动<sup>[20]</sup>。与普通物流相比,应急物流具有

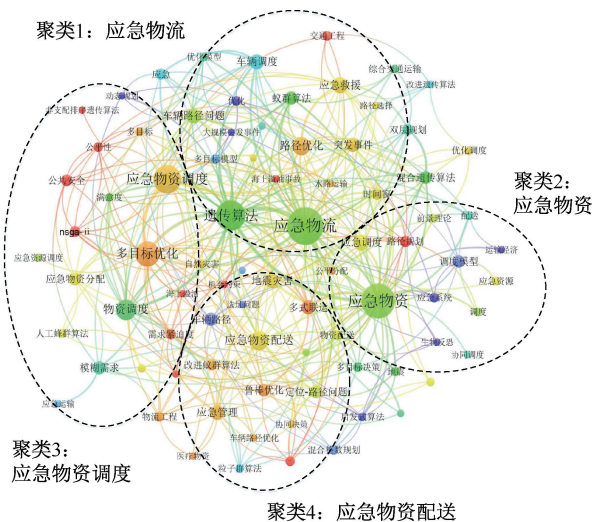


图 7 中文文献关键词共现

Fig. 7 Keyword co-occurrence of Chinese literature

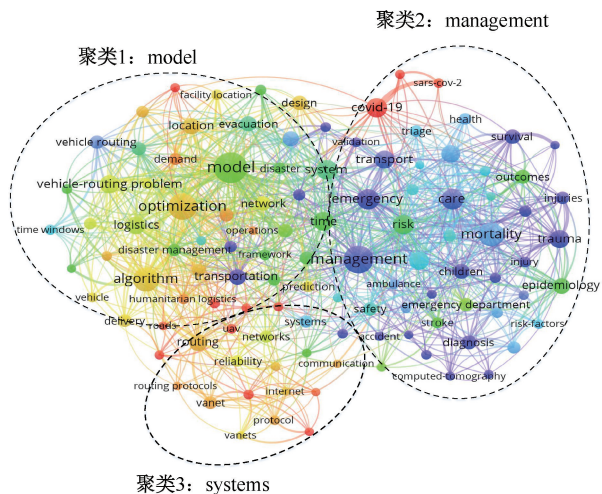


图 8 英文文献关键词共现

Fig. 8 Keyword co-occurrence of English literature

更强的时间效用、空间效用和弱经济性。国内从 2003 年非典疫情后才开始真正重视应急物流,研究重点集中于应急救援人员、设备、救援物资的筹集、分发、储存、运输的过程与方法。

聚类 2: 应急物资, 包括应急调度、地震灾害、多式联运等 22 个关键词。应急物资是指应急救援过程中的物资保障, 根据应急保障重点将其划分为现场管理与保障、生命救援与生活救助、工程抢险与专业处置 3 大类<sup>[21]</sup>。应急物资贯穿于整个应急救援活动, 包括应急物资储备、应急物资分配和应急物资运输等决策过程<sup>[22]</sup>。

聚类 3: 应急物资调度, 包括多目标优化、物资调度、突发事件等 17 个关键词。国内研究呈现出多样化的特点, 不同的学者和研究团队关注的焦点有

所不同。模型目标函数的选择具有灵活性, 可以是单目标、多个目标、联合目标, 以适应不同的应急救援场景和需求。时间最小化和成本最小化是单目标优化模型中最常见的研究目标, 旨在确保应急物资能够在最短时间内和(或)最小成本下送达需求点, 以减少灾害带来的损失和影响<sup>[23]</sup>。随着研究的不断深入, 目标函数的变化也呈现出新的趋势。一方面, 多目标优化逐渐成为当下研究的重点, 综合考虑物资的供应情况、运输工具的调配、运输路径的选择等因素, 同时实现时间、成本、损失、公平性等多个目标, 寻求更加全面的优化调度方案<sup>[24]</sup>。并且各目标的权重并不是固定不变, 其取决于参与决策主体的关注点和优先级, 随救援阶段和场景的变化而动态变化<sup>[25]</sup>。另一方面, 实际应急情况下往往存在许多不确定因素, 如需求不确定性、供应不确定性、运输时间不确定性等, 将不确定因素纳入目标函数中受到越来越多的关注, 要求目标函数具备更强的适应性和鲁棒性<sup>[26]</sup>。

聚类 4: 应急物资配送, 包括应急管理、车辆路径、改进蚁群算法等 16 个关键词。应急物资配送是指合理安排配送路线与时间, 在一定约束条件下从配送中心将应急物资送达各需求点, 使得整体目标优化的过程<sup>[27]</sup>。目前国内研究重点主要聚焦于智能优化算法(遗传算法、粒子群算法、蚁群算法、模拟退火算法等)的应用和不同约束条件的选择。由于应急物资配送属于典型的非确定性多项式问题, 大多数学者采用智能优化算法求解多约束条件和多目标非线性问题的近似最优解。如何提高算法的有效性成为当前研究趋势, 一部分学者通过调节已有算法的内部控制参数, 改进原始算法的性能<sup>[28]</sup>; 另一部分学者采用多种算法融合的方式, 集合各算法的优点提高运算效率<sup>[29]</sup>。在约束条件选择方面, 目前主要由配送条件和外部环境因素 2 个角度设定约束。从配送条件入手时, 针对灾后激增的应急物资需求和时效要求, 衍生配送次数约束<sup>[30]</sup>、车辆配送形式约束<sup>[31]</sup>和天窗约束<sup>[32]</sup>等; 从外部环境因素入手时, 针对救援过程中的物资竞争和道路通行性能, 优先约束<sup>[33]</sup>、道路约束<sup>[34]</sup>等被纳入约束范围。

研究发现, 英文文献关键词共现图一共出现 112 个关键词节点, 出现频次前 10 的关键词分别是 model、management、optimization、algorithm、mortality、care、emergency、COVID-19、risk、systems, 被认为是国际该领域的研究热点。图 8 中将关键词划分为 3 个聚类。

聚类 1: model(模型), 包括 optimization(优化)、algorithm(算法)、time(时间)等 43 个关键词。与国内研究重点一致, 模型与算法的优化依旧是该领域研究的主旋律, 主要围绕模型设计、算法改进、路径选择等方向。近年来, 学者们意识到应急物资调度是一个复杂的系统工程, 包括物资供应、运输、分配等多个环节, 研究趋势逐渐从局部优化向综合优化发展, 以实现整个系统的最佳性能。针对分配-路径、选址-分配、选址-路径等联合优化模型的扩展成为当下研究的热点<sup>[35]</sup>。

聚类 2: management(管理), 包括 mortality(死亡率)、care(护理)、emergency(突发事件)等 46 个关键词。近年来, 自然灾害和重大公共卫生事件频发, 造成巨大的人员伤亡和财产损失, 应急管理优化逐渐成为学者们关注的重点。除传统的经济和效率目标, 社会和环境因素也开始涌现, 如灾民心理感知程度、社会公平性、环境保护等, 当下研究更侧重于传染病疫情、援助、医疗救护等人道主义应急供应链方向<sup>[36]</sup>。

聚类 3: systems(系统), 包括 routing(路径)、networks(网络)、safety(安全)等 23 个关键词。应急物资调度问题的研究初期通常假定明确的条件和参数, 建立精确的数学模型, 采用传统精确算法求解, 决策过程稳定, 但并不符合现实救援场景, 模型适用性较差<sup>[37]</sup>。针对突发事件的破坏性、持续性和不确定性, 应急物资调度过程无法从事件发生地内部获取精确数据, 信息处于不对称状态, 制定调度方案面临诸多不确定因素, 如地点不确定、数量不确定、时间不确定等, 给应急物资调度研究和实践带来巨大挑战<sup>[38]</sup>。而模糊数学、灰色系统、随机规划、鲁棒优化、神经网络等分析方法为解决此类不确定应急物资调度问题提供了全新的思路<sup>[39-40]</sup>。除不确定性, 越来越多的学者们也开始关注现实救援场景的动态变化性对应急物资调度的影响<sup>[41]</sup>。各种应急救援信息由静态场景转变成动态场景, 信息的预测转变成信息的评估, 整个系统的研究难点转化为应急物资调度的实时动态优化决策方法。其中, 基础设施破坏<sup>[42]</sup>、交通路网演变规律<sup>[43]</sup>、多种运输方式联合运送<sup>[44]</sup>、时间窗限制<sup>[45]</sup>等逐渐成为当下应急物资调度问题的研究热点。

综合国内外研究热点, 发现关于模型、算法、优化、路径、约束等关键词基本相同, 说明国内外学者对于应急物资调度问题的研究具有一致性。从研究内容来看, 应急物资调度问题主要围绕分配-路径、选址-分配、选址-路径等单一模型或组合模型; 从

研究对象来看, 国内外学者之前热衷于研究以地震为主的自然灾害事件, 2019 年底新冠疫情暴发后, 针对公共卫生事件的研究开始逐渐增多<sup>[46]</sup>; 从研究趋势来看, 由于现实应急救援情况复杂, 决策环境不确定, 获取可靠信息贫乏, 涌现出不同的极端情况, 应急物资调度问题呈现出单一理论到综合理论、静态模型到动态模型、单一算法到混合算法、单目标到多目标、单层结构到多层结构、一阶段到多阶段、单约束到多约束的演化过程。而在模型优化设计方面, 国外学者较早就开始关注灾害场景下灾民心理的变化特征, 发展人道主义物流, 提倡关注应急救援中的社会效应, 有效缓解灾民痛苦感知<sup>[47]</sup>。国内针对这一方面的研究起步较晚, 疫情之后更多地考虑社会公平性问题。

## 4 研究不足与展望

通过文献计量分析发现, 目前国内外学者对于应急物资调度领域的模型建立、算法设计和决策方法等方面取得了一定成果, 但还存在以下不足:

1) 对不确定场景下的应急资源调度还应展开更多研究; 多数研究都聚焦于确定场景, 分析固定参数对优化决策方案的影响, 但实际应急救援过程难以获得准确灾情数据, 通常处于需求、供应、时间等都不确定的场景, 且不确定因素相互影响, 各阶段动态变化。未来的应急资源调度研究应定位于不确定场景, 以贴合应急救援现实情况。

2) 应加大对灾民心理感知的重视。受灾环境下, 灾民心理感知极大程度决定了救援行动成功与否。目前学者初步探讨了灾民非理性情绪, 在目标函数或约束中引入相关因素。未来需综合考虑灾民不同心理感知变化特征, 研究其对应急物资调度优化决策的影响, 进一步体现“以人为本”的应急救援理念。

3) 应加强对大数据分析和信息技术的应用。近年来, 大数据和人工智能发展迅速, 应急物资分配、车辆路径优化等问题均需要大量实际数据, 如何应用新技术获得多源数据, 如通过大数据及时调用受灾地区已有人口数据、人群集中地区数据、以往同类受灾后救援数据、最近应急物资供应点位置、储备物资品种数量、最优路径等数据进入相关模型, 以准确呈现灾害场景, 成为未来亟需解决的问题之一。

## 5 结论

1) 2000—2023 年, 应急物资调度问题的发展历程划分为 3 个阶段, 其发文量呈稳中有进的波浪

形增长。《中国安全科学学报》和 *Sustainability* 分别是发文量最多的中英文期刊,西南交通大学和北京交通大学以中文、英文发文量最高成为国内、国际领域的关键研究机构。在合作网络上,国内研究团队互不关联,合作强度低,尚未形成较大规模的学术合作网络。而国内外研究院校和机构之间联系较为紧密,主要以中国、加拿大和新加坡为核心。

2) 关键词共现分析表明:应急物资调度相关文献重点关注模型、算法、优化目标、限制约束等。中文文献大多数研究应急物资分配、选址、路径的集成

优化问题,而英文文献还关注应急救援中群众的情绪感知行为,并扩展到人道主义物流、服务效用感知、物资需求满意度等方面。针对4个中文文献聚类和3个英文文献聚类的梳理分析有助于系统全面把握研究动态的发展趋势。

3) 应急物资调度受现实应急需求和不确定信息干扰,应急救援情况复杂,如何运用大数据分析和信息技术、建立具有实用价值的动态不确定模型、设计新型智能优化算法或混合算法,是完善应急物资调度问题理论、方法和技术的重点研究方向。

### 参 考 文 献

- [1] ZHOU Lei, WU Xianhua, XU Zeshui, et al. Emergency decision making for natural disasters: an overview[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2018, 27:567-576.
- [2] SEABERG D, DEVINE L, ZHUANG Jun. A review of game theory applications in natural disaster management research[J]. *Natural Hazards*, 2017, 89(3):1461-1483.
- [3] 赵彤. 我国突发自然灾害应急救援物资配送系统优化研究[D]. 大连:大连海事大学, 2011.  
ZHAO Tong. The study on optimized emergency logistics distribution system of burst natural disasters rescuing in China[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2011.
- [4] 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):127-131.  
WANG Xuping, FU Kejun, HU Xiangpei. Research on emergency logistics system and its emergent response mechanism[J]. *China Soft Science*, 2005(6):127-131.
- [5] 宋明安. 紧急救灾物流配送系统模式构建[D]. 新竹:国立交通大学交通运输研究所, 2009.
- [6] 刘武阳. 突发事件应急处置中的物流优化与调度研究[J]. *湘潭大学自然科学学报*, 2010, 32(3):122-126.  
LIU Wuyang. The research of logistics optimization and scheduling in emergency handling[J]. *Journal of Xiangtan University: Natural Science Edition*, 2010, 32(3):122-126.
- [7] 刘南, 葛洪磊. 应急资源配置决策的理论、方法及应用[M]. 北京:科学出版社, 2014:3-8.
- [8] 侯海燕. 基于知识图谱的科学计量学进展研究[D]. 大连:大连理工大学, 2006.  
HOU Haiyan. Mapping evolution of scientometrics[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2006.
- [9] 陈悦, 刘则渊. 悄然兴起的科学知识图谱[J]. *科学学研究*, 2005, 23(2):149-154.  
CHEN Yue, LIU Zeyuan. The rise of mapping knowledge domain[J]. *Studies in Science of Science*, 2005, 23(2):149-154.
- [10] 戴更新, 达庆利. 多资源组合应急调度问题的研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2000, 20(9):52-55.  
DAI Gengxin, DA Qingli. The study of combinatorial scheduling problem in emergency systems[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2000, 20(9):52-55.
- [11] 王付宇, 李琰. 双层规划在灾后应急物资调度中的应用综述[J]. *计算机应用研究*, 2019, 36(10):2887-2893, 2924.  
WANG Fuyu, LI Yan. Review on application of bi-level programming in post-disaster emergency supplies scheduling[J]. *Application Research of Computers*, 2019, 36(10):2887-2893, 2924.
- [12] BALCIK B, BEAMON B K. Facility location in humanitarian relief[J]. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 2008, 11(2):101-121.
- [13] KOVACS G, SPENS K M. Humanitarian logistics in disaster relief operations[J]. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2007, 37(2):99-114.
- [14] BOZORGI-AMIRI A, JABALAMELI M S, MIRZAPOUR AI-E-HASHEM S M J. A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty[J]. *OR Spectrum*, 2013, 35(4):905-933.
- [15] 葛洪磊, 刘南, 张国川, 等. 基于受灾人员损失的多受灾点、多商品应急物资分配模型[J]. *系统管理学报*, 2010, 19(5):541-545.  
GE Honglei, LIU Nan, ZHANG Guochuang, et al. A model for distribution of multiple emergency commodities to multiple affected are as based on loss of victims of calamity[J]. *Journal of Systems & Management*, 2010, 19(5):541-545.
- [16] 宋英华, 谭新亮, 张伟. 安全绩效研究进展与展望:基于知识图谱分析[J]. *中国安全生产科学技术*, 2023,

- 19(10):43-50.
- SONG Yinghua, TAN Xinliang, ZHANG Wei. Research progress and prospect of research on safety performance: based on knowledge map analysis[J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2023, 19(10):43-50.
- [17] 宋英华, 白明轩, 马亚萍, 等. 考虑多主体心理效应的应急资源调度超网络模型[J]. *中国安全科学学报*, 2021, 31(2):158-166.
- SONG Yinghua, BAI Mingxuan, MA Yaping, et al. Super-network model of emergency resource scheduling considering multi-agent psychological effect[J]. *China Safety Science Journal*, 2021, 31(2):158-166.
- [18] 刘长石, 瞿艳平, 罗亮, 等. 震后应急物流设施不确定失效情景下的 LRP 研究[J]. *模糊系统与数学*, 2019, 33(5):107-115.
- LIU Changshi, QU Yanping, LUO Liang, et al. Location-routing problem under uncertain failure scenario of emergency facilities in post-earthquake[J]. *Fuzzy Systems and Mathematics*, 2019, 33(5):107-115.
- [19] 宋晓宇, 王建国, 常春光. 非线性连续消耗应急物资调度问题研究[J]. *系统工程学报*, 2017, 32(2):163-176.
- SONG Xiaoyu, WANG Jianguo, CHANG Chunguang. Nonlinear continuous consumption emergency material dispatching problem[J]. *Journal of Systems Engineering*, 2017, 32(2):163-176.
- [20] 欧忠文, 王会云, 姜大立, 等. 应急物流[J]. *重庆大学学报:自然科学版*, 2004, 27(3):164-167.
- OU Zhongwen, WANG Huiyun, JIANG Dali, et al. Emergency logistics[J]. *Journal of Chongqing University*, 2004, 27(3):164-167.
- [21] 姜玉宏, 颜华, 欧忠文, 等. 应急物流中应急物资的管理研究[J]. *物流技术*, 2007, 26(6):17-19.
- JIANG Yuhong, YAN Hua, OU Zhongwen, et al. Study on emergency materials management in emergency logistics[J]. *Logistics Technology*, 2007, 26(6):17-19.
- [22] 张红. 我国应急物资储备制度的完善[J]. *中国行政管理*, 2009(3):44-47.
- ZHANG Hong. Improvement of emergency materials reserves system in China[J]. *Chinese Public Administration*, 2009(3):44-47.
- [23] 郭子雪, 郭亮, 张培, 等. 应急物资调度时间最小化模糊优化模型[J]. *中国安全科学学报*, 2015, 25(10):172-176.
- GUO Zixue, GUO Liang, ZHANG Pei, et al. Time minimization model for emergency material dispatching based on triangle fuzzy information[J]. *China Safety Science Journal*, 2015, 25(10):172-176.
- [24] 单子丹, 盛晨辉, 王晓燕, 等. 突发事件下应急物资多目标优化调度模型与算法研究:以新冠肺炎疫情为例[J]. *运筹与管理*, 2023, 32(1):34-40.
- SHAN Zidan, SHENG Chenhui, WANG Xiaoyan, et al. Research on the multi-objective optimization dispatching model and algorithm of emergency supplies under emergency events: a case of COVID-19[J]. *Operations Research and Management Science*, 2023, 32(1):34-40.
- [25] 汪勇, 李文凯, 艾学轶, 等. 考虑目标偏好的应急物资调度方案优化方法[J]. *统计与决策*, 2023, 39(21):184-188.
- WANG Yong, LI Wenkai, AI Xueyi, et al. Optimization method of emergency supplies dispatching scheme considering target preference[J]. *Statistics & Decision*, 2023, 39(21):184-188.
- [26] 袁瑞萍, 王伟, 李俊韬, 等. 不确定性条件下多阶段应急物资多式联运调度研究[J]. *运筹与管理*, 2023, 32(6):33-39.
- YUAN Ruiping, WANG Wei, LI Juntao, et al. Multi-stage emergency materials scheduling based on multimodal transportation under uncertainty[J]. *Operations Research and Management Science*, 2023, 32(6):33-39.
- [27] 王海军, 杜丽敬, 胡蝶, 等. 不确定条件下的应急物资配送选址-路径问题[J]. *系统管理学报*, 2015, 24(6):828-834.
- WANG Haijun, DU Lijing, HU Die, et al. Location-routing problem for relief distribution in emergency logistics under uncertainties[J]. *Journal of Systems & Management*, 2015, 24(6):828-834.
- [28] 郑斌, 马祖军, 李双琳. 基于双层规划的应急物流系统选址-联运问题[J]. *系统科学与数学*, 2013, 33(9):1 045-1 060.
- ZHENG Bin, MA Zujun, LI Shuanglin. Joint location-transportation problem in relief distribution systems based on bi-level programming[J]. *Journal of Systems Science and Mathematical Sciences*, 2013, 33(9):1 045-1 060.
- [29] 胡飞虎, 马贝龙, 杨丽, 等. 基于改进遗传算法的应急物资配送车辆调度优化问题研究[J]. *计算机应用研究*, 2014, 31(10):2 928-2 932,2 936.
- HU Feihu, MA Beilong, YANG Li, et al. Research on vehicle scheduling optimization in emergency material distribution based on improved genetic algorithm[J]. *Application Research of Computers*, 2014, 31(10):2 928-2 932,2 936.
- [30] 但兵兵, 朱万红, 桑杨阳, 等. 需求可拆分的应急物资调度问题的蚁群算法[J]. *指挥控制与仿真*, 2013, 35(4):81-83,87.
- DAN Bingbing, ZHU Wanhong, SANG Yangyang, et al. Ant colony optimization algorithm for split routing problem of dispatching emergency materials[J]. *Command Control & Simulation*, 2013, 35(4):81-83,87.
- [31] 杨翔, 范厚明, 徐振林, 等. 模糊需求下多中心开放式车辆路径优化[J]. *计算机集成制造系统*, 2019, 25(2):

469-479.

YANG Xiang, FAN Houming, XU Zhenlin, et al. Optimization of open multi-depot vehicle routing problem with fuzzy demand[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2019, 25(2):469-479.

- [32] 吕伟,李志红,马亚萍,等. 考虑受灾点需求时间窗的应急物资配送车辆路径规划研究[J]. *中国安全生产科学技术*, 2020, 16(3):5-11.
- LYU Wei, LI Zhihong, MA Yaping, et al. Research on route planning of emergency materials distribution vehicles considering time window of requirements by disaster point[J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2020, 16(3):5-11.
- [33] 杨倩,王飞跃,卢佳节,等. 基于需求紧迫度的约束性应急物资车辆路径模型[J]. *清华大学学报:自然科学版*, 2024, 64(6):1082-1088.
- YANG Qian, WANG Feiyue, LU Jiajie, et al. Constrained vehicle routing model for emergency relief supplies based on demand urgency[J]. *Journal of Tsinghua University : Natural Science Edition*, 2024, 64(6):1082-1088.
- [34] 陈钢铁,帅斌. 震后道路抢修和应急物资配送优化调度研究[J]. *中国安全科学学报*, 2012, 22(9):166-171.
- CHEN Gangtie, SHUAI Bin. Optimizing emergency road repair and distribution of relief supplies after earthquake[J]. *China Safety Science Journal*, 2012, 22(9):166-171.
- [35] DUQUE P A M, DOLINSKAYA I S, SÖRENSEN K. Network repair crew scheduling and routing for emergency relief distribution problem[J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 248(1):272-285.
- [36] CHARLES A, LAURAS M, VAN WASSENHOVE L N, et al. Designing an efficient humanitarian supply network[J]. *Journal of Operations Management*, 2016, 47:58-70.
- [37] OEZDAMAR L, EKINCI E, KUECUEKYAZICI B. Emergency logistics planning in natural disasters[J]. *Annals of Operations Research*, 2004, 129:217-245.
- [38] HATEFI S M, JOLAI F. Robust and reliable forward-reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2014, 38(9/10):2630-2647.
- [39] LI Jingwen, ZHANG Xiang, YAO Yingming. A bi-level robust optimization model for the coupling allocation of post-disaster personnel and materials assistance[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 469: DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.143099.
- [40] WANG Weiqiao, YANG Kai, YANG Lixing, et al. Distributionally robust chance-constrained programming for multi-period emergency resource allocation and vehicle routing in disaster response operations[J]. *Omega*, 2023, 120: DOI: 10.1016/j.omega.2023.102915.
- [41] JAIN S, BHARTI K K. A combinatorial optimization model for post-disaster emergency resource allocation using metaheuristics[J]. *Soft Computing*, 2022, 27(18):13595-13611.
- [42] JIANG Huawei, ZHANG Shulong, GUO Tao, et al. Improved whale swarm algorithm for solving material emergency dispatching problem with changing road conditions[J]. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 2023, 20(8):14414-14437.
- [43] JIANG Jincheng, LI Qingquan, WU Lixin, et al. Multi-Objective emergency material vehicle dispatching and routing under dynamic constraints in an earthquake disaster environment[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2017, 6(5): DOI:10.3390/ijgi6050142.
- [44] ZHANG Ming, LI Songrui, LI Boquan. An air-ground cooperative scheduling model considering traffic environment and helicopter performance[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, 158(4): DOI:10.1016/j.cie.2021.107458.
- [45] WANG Fuyu, LI Yan, CHEN Jingjing. Bi-level programming model for post-disaster emergency supplies scheduling with time windows and its algorithm[J]. *International Journal of Automation and Control*, 2022, 16:45-63.
- [46] LIU Jia, BAI Jinyu, WU Desheng. Medical supplies scheduling in major public health emergencies[J]. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 2021, 154: DOI:10.1016/j.tre.2021.102464.
- [47] CAO Cejun, XIE Yuting, LIU Yang, et al. Two-phase COVID-19 medical waste transport optimisation considering sustainability and infection probability[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 389: DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.135985.

**作者简介:** 杨倩 (1999—),女,贵州贵阳人,博士研究生,主要研究方向为城市公共安全、应急救援路径规划。E-mail:yangqian\_13@csu.edu.cn。

