

# 面向受灾差异的跨区域应急救援路径优化

王佳伟

福建省森林消防总队 福建福州 350000

**摘要:** 灾害的频发与破坏性日益加剧,跨区域应急救援面临着巨大挑战。受灾地区的差异性直接影响救援效率与质量,因此探究跨区域应急救援路径优化具有重要意义。本文基于区域受灾差异性评估指标体系,分析了基础设施损毁程度、多维度受灾特征与救援需求的关联性对跨区域救援的影响。在此基础上,提出了救援时效与资源配置协同优化机制、区域间救援力量联动调度策略以及救援路径动态选择的约束要素,构建了面向受灾差异的多目标救援路径优化模型。通过优化算法实证验证与救援效果评估,为提升跨区域应急救援效率提供了新思路与方法。

**关键词:** 跨区域应急救援; 受灾差异; 路径优化

## 引言:

近年来,全球范围内自然灾害与人为灾难频发,造成了巨大的生命与财产损失。面对重大灾害事件,单一区域的救援力量往往难以满足紧急救援需求,跨区域应急救援成为提升救灾效率的关键举措。然而,受灾地区的差异性对跨区域救援效率产生显著影响,如何针对性地优化救援路径成为亟待解决的问题。为此,本文从受灾差异视角出发,深入分析影响跨区域救援的关键因素,构建面向受灾差异的多目标救援路径优化模型,以期提升跨区域应急救援效率提供理论支撑与实践指导。

## 1. 受灾差异对跨区域应急救援路径的影响分析

### 1.1 区域受灾差异性评估指标体系研究

建立科学合理的区域受灾差异性评估指标体系是优化跨区域救援决策的基础。评估指标需要从灾害风险、脆弱性、应急能力等多个维度综合考虑。其中,灾害风险指标主要包括致灾因子强度、灾害频率、承灾体暴露度等;脆弱性指标涵盖人口密度、建筑结构类型、基础设施状况等;而应急能力指标则涉及救援物资储备、救援队伍建设、交通运输条件等。通过构建层次分明、逻辑清晰的指标体系,运用层次分析等方法确定各指标权重,可以客观评判不同区域遭受灾害冲击后的综合影响程度,识别救援需求高度差异化的关键区域,为优化跨区域救援资源部署提供决策参考。

### 1.2 基础设施损毁程度对救援效率影响

灾后基础设施损毁状况直接制约着救援力量和物资的调运效率。道路、桥梁、通信等关键基础设施遭到破坏越严

重,受灾区域的可达性就越差,给救援行动组织带来的困难也就越大。为准确评估基础设施损毁对区域可达性的影响,一方面要及时获取道路中断、桥梁垮塌等损毁点的具体位置信息,可借助遥感影像解译、无人机巡查等技术手段实现;另一方面,还需考虑到连通性、冗余度等道路网络的整体性能指标。在此基础上,方能运用网络分析等方法科学评价区域可达性损失程度,并据此优化调整救援力量与物资的空间布局,最大限度地克服基础设施损毁对救援效率的不利影响<sup>[1]</sup>。

### 1.3 多维度受灾特征与救援需求关联性

不同地区呈现出人员伤亡规模、房屋损坏程度、次生衍生灾害风险等多维度的差异化受灾特征,而这些特征又与救援需求的类型和规模密切相关。伤亡人数越多,需要调集的搜救队伍和医疗资源就越多;房屋损毁越严重,灾民转移安置需求就越迫切;次生衍生灾害风险越高,现场防控和监测预警的需求也就越大。因此,深入分析多维受灾特征与救援需求的对应关系,构建关联映射模型,才能做到一区一策,因灾施救。这就要求救援指挥部门根据灾情快速评估的结果,综合考虑不同区域的需求偏好,制定差异化、精准化的需求响应方案,并据此优化调配各类应急资源,科学制定跨区域救援路径,最大程度满足不同区域的差异化需求。

## 2. 跨区域应急救援路径优化的关键要素

### 2.1 救援时效与资源配置协同优化机制

应急救援讲求时效性,同时也必须兼顾资源配置的效率性。救援力量调集与物资调运所需时间直接影响着灾民

众能否得到及时救助,资源如何在区域间统筹调配又关系到有限应急资源能否发挥最大效用。为此,需要系统权衡好救援时效和资源利用两大目标,构建协同优化机制:一方面,要结合灾损评估情况和救援需求预测,在时间和空间尺度上统筹资源需求与供给,最小化资源短缺和冗余浪费;另一方面,还要综合考虑不同运输方式和调运路径的时间成本,在满足时效要求的前提下降低资源调运成本。通过两个目标的联合优化求解,形成时效与资源配置相互促进、相得益彰的良性机制<sup>[2]</sup>。

### 2.2 区域间救援力量联动调度策略分析

重特大灾害发生后,单一区域的救援力量往往难以完全满足需要,必须充分调动各方力量,形成区域间联动、梯次接力的救援格局。然而,如何根据不同区域的差异化需求实现科学调度、精准对接,是一个亟待破解的难题。对此,应当从顶层设计与一线执行两个层面系统分析。在顶层设计方面,要构建跨区域救援力量信息平台,实现灾情、需求、资源等要素的动态感知和共享;在联动调度机制上,要从分散指挥向统筹协调转变,加强总体策划和任务分解。在一线执行层面,要坚持“主战区”牵头、相邻区域支援的原则,充分发挥灾区周边区域应急资源的就近优势;同时鼓励开展模块化、专业化的力量支援,通过异地增援弥补主战区能力短板。唯有在两个层面形成联动合力,才能真正实现区域间救援力量的无缝衔接和精准调度。

### 2.3 救援路径动态选择的约束要素研究

救援路径选择并非一蹴而就,而是一个动态调整的过程,需要综合考虑诸多约束要素的影响。其中最主要的是灾情形势与交通状况的动态变化带来的制约。一方面,随着灾情评估的深入和新的灾情信息不断获取,救援需求分布格局可能出现波动;另一方面,由于余震、泥石流、交通流量激增等因素影响,部分道路和桥梁状况可能恶化,引发通行能力下降甚至中断,需要及时选择替代路径。此外,还要考虑到救援资源与救援风险等要素的约束。救援物资和装备的储备量与到达时间直接影响路径选择的资源可行性,而危险路段的通行安全风险评估结果则关系到路径选择的安全可靠性。因此,在路径优化时必须将上述动态约束要素纳入考量,通过实时信息感知、滚动决策优化等方式,对救援路径进行动态调整,确保在复杂多变的灾区环境下持续高效运行。

## 3. 面向受灾差异的跨区域应急救援路径优化模型

### 3.1 多目标救援路径优化模型构建方法

跨区域应急救援路径优化设计是一项涉及多维决策目标的复杂系统工程,需要科学构建数学模型进行系统分析与求解。当前救援任务面临时间效率、成本控制和安全保障等多重挑战,首先需要将路径规划问题抽象为区域内部与跨区域两个层级的多层网络结构,分别构建时间最短、成本最低、安全系数最高等多个优化目标函数。其次,在模型框架中引入人力资源数量、救援物资容量、交通设施承载力等约束条件,并将道路通行状态的动态变化特性纳入时空网络中,形成资源配置与路径选择的协同优化模型。针对不同区域的特殊救援需求和环境约束,着重细化网络节点与连接边的属性参数,通过引入区域差异化系数和权重因子,实现精细化的个性化优化方案。再次,考虑救援环境的复杂性和不确定性,模型设计中强化了约束条件的动态调整机制,确保优化结果能够适应实际情况的变化。在求解策略方面,面对大规模优化问题的计算复杂度,采用分层多阶段的求解框架,将复杂问题分解为若干个子问题进行逐层求解,通过局部最优解的不断改进,最终逼近全局最优解。通过科学的多目标规划方法对跨区域救援路径进行系统建模与优化求解,可为应急救援决策提供可靠的理论支撑与实践指导<sup>[3]</sup>。

### 3.2 优化算法在救援路径规划中的应用

在实际的跨区域救援网络优化问题中,由于决策变量众多且约束条件复杂,传统数学规划方法在求解大规模问题时往往面临计算效率低下的严峻挑战。现代智能优化算法凭借独特的群体智能特性与搜索机制,能够在合理时间内获得较好的近似解。一方面,进化算法通过模拟生物进化过程中的选择、交叉和变异操作,不断提升种群适应度;蚁群算法则借鉴蚂蚁觅食行为中的信息素通信机制,引导搜索方向朝最优解收敛;粒子群算法通过模拟鸟群觅食行为,利用群体间的信息共享实现解空间的高效探索。另一方面,针对救援环境的动态特性与不确定性,算法设计中融入多阶段迭代机制和自适应参数调整策略,通过动态权重调整和多目标协调机制,既确保算法收敛性能,又提高解的质量。同时,通过构建多算法协同优化框架,充分发挥各类算法的优势特点,实现优化过程的互补与增强。在实际应用中,还需要考虑算法的鲁棒性和计算效率,通过合理设置控制参数和终止条件,在求解精度和计算时间之间取得平衡。此外,针对突发事件

处理的时效性要求,开发了基于并行计算的优化求解方法,显著提升了算法的运行效率。基于改进的智能优化算法对救援路径进行规划,可为跨区域应急救援提供高效精准的决策支持系统。

### 3.3 模型实证验证与救援效果评估分析

面向受灾差异的跨区域应急救援路径优化模型在构建完成后,还需经受实践检验,以评估其实际应用效果。利用GIS等空间信息技术,构建与真实救援环境高度吻合的数字化场景,模拟不同灾情发展趋势和动态需求变化,是开展模型实证验证的有效途径。通过多情景、动态仿真,可全面评估模型生成救援路径的合理性与可行性。将模型输出路径与实际救援行动进行对比分析,能够定量刻画模型在缩短响应时间、优化资源配置、扩大目标覆盖面等方面的效果提升。综合运用层次分析等科学评判方法,对时间、成本、安全等效果维度加权评分,可得出模型救援效果的整体评价。此外,选择典型灾害案例开展系统仿真推演,多角度、立体化地呈现模型实际应用情景,邀请救援领域专家参与推演并对路径方案进行评判,将定性分析与定量分析相结合,能够更加全面、客观地评估模型的实用价值。通过深入剖析评估结果,既能直观展现模型应用的显著成效,也可识别其局限性和不足之处,进而有针对性地持续改进优化模型,提升其适应复杂灾情、驾驭动态演变的能力,增强模型应对区域差异的灵活性与精准性,为跨区域救援行动提供更

加高效、智能的决策支持<sup>[4]</sup>。

结语:面向受灾差异的跨区域应急救援路径优化是一项复杂而紧迫的系统工程。通过科学评估区域差异性,精准配置救援资源,优化时空调度策略,动态选择最优路径,该模型为提升跨区域救援效率提供了新思路新方法。然而,将理论成果转化为实际应用仍需付出艰苦努力。未来还需进一步完善区域协同机制,加强多源数据融合,拓展模型适用场景,并加快推动成果转化落地,以期提升国家综合减灾救灾能力、维护人民生命财产安全作出更大贡献。让我们携手并进,砥砺前行,努力开创灾害应急救援工作新局面。

#### 参考文献:

- [1] 郑屹桐.突发事件下跨区域应急物资调度与仿真研究[D].兰州交通大学,2023.
- [2] 杨帆.自然灾害下考虑需求分级的跨区域应急物资调度优化研究[D].燕山大学,2023.
- [3] 黄珊.突发事件下跨区域综合交通运输网救援点布局研究[D].西南交通大学,2021.
- [4] 朱莉.考虑效率和公平的跨区域协同应急救援路径选择[J].控制与决策,2021,36(02):483-490.

#### 作者简介:

王佳伟 性别:男 出生年月:1987.02 民族:汉 籍贯:黑龙江木兰 职称:初级专业技术职务 学历:福建省委党校在职研究生 单位:福建省森林消防总队 研究方向:应急管理