

# Multi-source heterogeneous data fusion and rescue path optimization for chemical accident emergency

Fanyong Chen<sup>1</sup> Yafei Xu<sup>2\*</sup> Hua Zhang<sup>3</sup>

1. Yunnan Phosphorus Chemical Industry Division Yunnan Phosphorus Chemical Group Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650600, China

2. Kunyang Phosphate Mine No.2 Yunnan Phosphorus Chemical Group Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650600, China

3. Yunnan Phosphorus Resource Technology Innovation Center, Kunming, Yunnan, 650600, China

## Abstract

Emergency response to chemical accidents is crucial for public safety and social stability. The urgent challenge lies in effectively leveraging modern technologies to enhance the efficiency and accuracy of emergency management. With the widespread application of big data, IoT, and remote sensing technologies, multi-source heterogeneous data has become increasingly vital in chemical accident response. This study investigates fusion methods for heterogeneous data and combines them with a rescue route optimization model to explore efficient information integration and rational resource allocation during emergency operations. Research demonstrates that through data fusion and route optimization, not only can response timeliness and precision be improved, but rescue effectiveness can also be maximized under limited resources, thereby reducing losses. The paper further presents specific application cases of the multi-source data fusion and route optimization model, offering innovative approaches for chemical accident emergency management.

## Keywords

chemical accident; emergency management; multi-source heterogeneous data; data fusion; rescue path optimization

## 面向化工事故应急的多源异构数据融合与救援路径优化

陈凡永<sup>1</sup> 徐亚飞<sup>2\*</sup> 张华<sup>3</sup>

1. 云南磷化集团有限公司磷化工事业部, 中国·云南昆明 650600

2. 云南磷化集团有限公司昆阳磷矿二矿, 中国·云南昆明 650600

3. 云南省磷资源技术创新中心, 中国·云南昆明 650600

## 摘要

化工事故应急响应工作关系到人民群众的生命安全和社会的稳定, 如何有效利用现代科技手段提升应急管理的效率和准确性, 是当前亟待解决的重要问题。随着大数据、物联网、遥感技术等广泛应用, 多源异构数据在化工事故应急中的作用日益突出。本文研究了多源异构数据的融合方法, 并结合救援路径优化模型, 探讨如何在化工事故应急中实现信息的高效集成与救援资源的合理调度。研究表明, 通过数据融合与路径优化, 不仅可以提高事故响应的时效性和精准度, 还能在资源有限的情况下, 最大限度地发挥救援效能, 减少损失。本文还提出了多源数据融合与路径优化模型的具体应用案例, 为化工事故应急管理提供了新的思路和方法。

## 关键词

化工事故; 应急管理; 多源异构数据; 数据融合; 救援路径优化

## 1 引言

随着化工行业的快速发展, 化工事故发生的频率和危

害性逐年上升, 尤其是有毒气体泄漏、爆炸、火灾等事故常常带来严重的人员伤亡、财产损失以及环境污染。化工事故的应急响应系统应当具备高效的信息收集、分析、决策和资源调度能力。在传统的应急响应中, 往往面临信息来源分散、数据形式不统一、响应速度慢等问题, 导致应急反应无法达到最优效果。因此, 基于现代信息技术, 尤其是多源异构数据融合技术的应用, 为提升化工事故应急响应效率提供了新的可能。

多源异构数据指的是来自不同传感器、设备或平台的数据, 这些数据可能包含地理信息、环境监测数据、视频监

【基金项目】云南省磷资源技术创新中心(项目编号: 202305AK340002)。

【作者简介】陈凡永(1982-), 女, 中国云南永善人, 本科, 工程师, 从事化工安全管理研究。

【通讯作者】徐亚飞(1980-), 男, 中国云南玉溪人, 本科, 工程师, 从事非煤矿山安全管理研究。

控数据、气象数据、交通信息等。这些数据形式不同，但它们可以互相补充，为应急响应提供更加全面、精准的决策支持。通过对多源数据的融合，可以获得更为详细的事故现场情况，分析危险源，判断事故发展趋势，从而为救援决策提供科学依据。

此外，随着应急救援资源的紧张和救援任务的复杂化，如何在有限的时间内有效调度资源，并选择最优的救援路径，是救援工作中的核心问题。通过构建科学的路径优化模型，合理规划救援路线，可以最大限度地提高资源利用效率，确保救援行动的及时性和精准性。因此，研究面向化工事故应急的多源异构数据融合与救援路径优化，对于提升应急管理的综合效能，具有重要的理论意义和实践价值。

## 2 化工事故应急响应中多源异构数据的特征与融合方法

### 2.1 多源异构数据的来源与特征

在化工事故应急管理中，数据来源广泛，主要包括以下几类：

**传感器数据：**包括环境监测传感器、气体检测仪、温湿度传感器等，这些设备能够实时采集事故现场的有毒气体浓度、温度、湿度等数据，为评估事故风险和预测后果提供基础信息。

**视频监控数据：**通过安装在事故现场的监控摄像头，提供实时的图像数据，帮助应急指挥人员直观了解现场情况，及时判断事态发展。

**地理信息数据：**地理信息系统（GIS）可以提供现场的地形地貌、交通状况、危险源位置等空间信息，辅助应急人员进行地理信息分析和决策。

**气象数据：**气象数据包括风速、气温、降水等信息，能够帮助判断事故对环境的扩散程度，尤其是在有毒气体泄漏或火灾事故中，气象数据对于评估事故风险至关重要。

**交通信息数据：**通过智能交通系统（ITS）或实时交通监测平台，获取道路状况、交通流量等数据，为救援车辆的快速通行提供支持。

这些数据虽然各自独立，但在应急响应中却是互为补充的。如何将这么多源异构的数据有效融合，并提取有价值的信息，成为提升应急响应效率和准确性的关键。

### 2.2 多源异构数据的融合方法

多源异构数据的融合方法通常分为数据层融合、特征层融合和决策层融合三种方式。根据不同的数据类型和应用需求，采用不同的融合策略。

**数据层融合**是将不同来源的原始数据进行整合，通过数据清洗、去噪和标准化处理后，形成统一的输入数据。这种方法适用于结构化数据的融合，可以有效提高数据的质量和一致性。

**特征层融合**是在数据预处理的基础上，对不同数据源

提取的特征进行组合和加权。通过特征融合，可以将各个数据源的优势最大化，从而更好地反映事故现场的综合情况。

**决策层融合**是将不同来源数据的分析结果进行综合，结合决策算法，得到最终的决策输出。该方法可以提高决策的准确性和全面性，尤其在处理复杂多变的应急响应中，决策层融合能够有效综合各种意见和建议，做出科学决策。

## 3 化工事故救援路径优化模型的构建与应用

### 3.1 救援路径优化的基本概念

救援路径优化是化工事故应急响应中的核心环节，旨在确保救援资源能够在最短时间内、以最低成本、高效安全地到达事故现场并进行处置。考虑到化工事故的突发性和复杂性，救援路径优化需要同时考虑多个因素，如道路通行状况、事故现场的危险等级、救援资源的分布与调度等，从而确定最佳的救援路线。优化的目标不仅仅是最短路径，更要平衡救援效率与安全性，在确保生命财产安全的前提下，最大限度地提高救援行动的效果。

路径规划是救援路径优化中的基础问题。通过构建精确的交通网络模型，能够对从应急指挥中心到事故现场的多条可能路径进行评估，考虑不同路径的通行能力、交通流量、道路状态、事故区域封闭情况等变量。实时数据的获取和分析有助于动态调整规划方案，以确保救援资源能够选择最合适的路径，避免由于交通拥堵、事故封路等问题影响救援时效。此外，路径规划还需考虑到各种应急情况的变化，例如天气变化、突发障碍物、道路施工等可能影响交通流的因素。

资源调度在救援路径优化中占据至关重要的地位，尤其是在化工事故等紧急情况下。除了人员、设备和物资的调度，资源调度还要求综合考虑多种因素，如资源的可用性、调配的及时性、需求的紧急程度以及各种资源间的协调关系。在多种资源并行调度的情况下，优化算法需要综合各类资源的限制条件，合理安排救援人员和设备的工作时间、运输路径和工作强度。为了确保各类资源能够高效、精确地到达事故现场，调度系统应当具备多维度的实时监控和调配能力，能够在系统负载、交通状况和资源配置出现变化时，灵活调整各类资源的分配，确保没有任何资源被浪费。通过模拟不同场景，提前预测可能发生的资源调配问题，优化算法可为救援指挥中心提供科学的决策支持。此外，资源调度的优化模型还需兼顾成本、时间与质量，做到资源使用的最优平衡。

化工事故具有高度的不确定性，往往需要实时调整救援路径。事故发生后，现场可能会因为泄漏、火灾或其他危机情况不断变化，交通状况、事故严重性、环境变化等都会影响到路径选择。因此，实时动态优化显得尤为重要。救援车辆和人员在到达现场过程中，可能会遇到意外的道路封闭、事故扩展、天气突变等不可预测的因素，传统的静态路径优化模型无法适应这样的复杂局面。通过集成智能交通系

统、环境监测设备以及救援人员反馈信息，动态优化模型能够实时获取现场的各种数据，并迅速做出响应，调整救援路径，保障救援效率。例如，实时路况信息可以为救援车辆提供避堵的最佳路线，天气预报系统可以预判可能出现的恶劣天气，确保救援不受影响。高度自适应的动态优化系统，能够根据突发事件和实时信息自动调整路径规划，减少不必要的停滞和绕行，从而提高救援时效，最大限度地减少损失。

### 3.2 救援路径优化模型的构建

救援路径优化模型的构建是对传统路径规划技术的进一步深化，涉及多种算法和技术的综合应用。优化模型不仅需要考虑到静态的道路情况，还应结合实时数据进行动态调整。常见的路径优化目标包括最短路径、最小时间、最小成本等，目标的选择通常取决于具体应急情况的需求。构建高效的路径优化模型需要运用图论、智能算法等方法，结合多目标优化理念，综合评估交通状况、资源可用性和事故现场的危险度等因素。

图论方法是路径优化中最常用的数学工具。通过将交通网络抽象为图结构，其中节点代表交通关键点，边代表道路的连接，图论算法可以有效求解最短路径问题。最经典的图算法包括 Dijkstra 算法和 A\* 算法，它们能够在图中快速寻找从起点到终点的最短路径。在救援路径优化中，通过对交通网络进行精确建模，可以快速计算出多条路径的耗时、交通情况等，为决策者提供可选方案。

近年来，智能算法在路径优化中的应用取得了显著进展。遗传算法、蚁群算法、粒子群算法等智能优化方法具有强大的全局搜索能力，可以有效避免局部最优解，找到全局最优或近似最优的解决方案。尤其是在处理复杂和动态环境中的路径优化时，智能算法展现出了巨大的优势。通过模拟生物行为或自然界现象，智能算法能够应对交通流量的波动、道路封闭等突发情况，快速调整路径规划，确保救援任务的顺利进行。

多目标优化模型是在单一目标的基础上，考虑多个优化目标进行综合评估。在化工事故救援中，路径优化往往不仅仅需要考虑到最短路径，还要考虑其他因素，如最小时间、最小燃油消耗、最大安全性等。通过建立多目标优化模型，决策者能够在多个目标之间找到最佳平衡点。例如，在交通繁忙区域，可能需要牺牲部分时间成本来保证路径的安全性和资源的高效利用。多目标优化算法（如 Pareto 优化、模糊优化等）能够有效解决这些复杂的决策问题，帮助决策者在多重约束下做出合理的救援路径选择。

### 3.3 路径优化的应用案例

在某化工厂发生泄漏事故时，结合多源数据融合与路

径优化模型，通过实时收集事故现场的环境监测数据、交通信息和气象数据，能够有效规划救援路径。首先，利用大数据分析平台获取交通流量、事故封路情况等信息，结合地图数据和实时环境变化，系统为应急指挥中心提供了多个备选救援路径。然后，通过应用基于智能算法的路径优化模型，计算出最短、最安全的救援路线，并根据实时交通状况动态调整路径。

具体应用中，救援队伍根据优化后的路径，在最短时间内避开交通拥堵和危险区域，成功将消防、医疗和救援人员送达事故现场，迅速展开灭火和伤员救援工作。通过路径优化与多源数据的有效结合，救援人员能够以最优方式进行资源配置，最大化地减少了事故的二次损害，为事故处理赢得了宝贵的时间。

这一应用案例表明，基于多源数据融合与路径优化模型的应急救援方案，能够显著提升救援效率、减少响应时间，并通过智能化、实时的决策支持，确保救援行动的顺利进行。此类模型在实际应急管理中的应用效果也证明了其在提高救援效率和优化资源配置方面的巨大潜力。

## 4 结语

面向化工事故应急的多源异构数据融合与救援路径优化，不仅提升了应急响应的效率和科学性，更为现代化的应急管理提供了有效的技术手段。通过智能化的数据处理与路径规划方法，能够大大提高应急救援的时效性与安全性，并确保在复杂多变的应急环境中，资源得到最优调配。随着技术的不断进步，尤其是大数据、人工智能和物联网技术的深入应用，未来的救援路径优化模型将更加智能化、精细化，为应对化工事故等突发事件提供更加科学、合理的解决方案。随着这些技术的普及和应用，未来的应急管理系统将更加高效，能够在第一时间内作出最佳决策，有效降低事故对社会的影响，保障人民群众的生命财产安全。

### 参考文献

- [1] 陶孟赞.融合多源时空数据的应急管理“一张图”研究与应用——以泰顺县为例[J].浙江国土资源,2025,(07):48-50.
- [2] 王伟,于维欣,陈晔宽,等.数据驱动的快速路网突发事件应急管理模式探析[J].中国交通信息化,2024,(S2):114-118.
- [3] 赵宁,裴蕾,刘德海,等.数据驱动下应急管理的实践需求与理论前瞻:2023年“万众杯”应急管理数据分析大赛[J].运筹与管理,2023,32(06):1-11.
- [4] 南锐,肖叶静,王静.突发事件应急管理情景分析:宏观审视与微观解构[J].矿业科学学报,2023,8(02):265-276.
- [5] 卢凯旋,管露洋,李庆亭,等.基于遥感大数据的应急管理空间信息智能提取[J].卫星应用,2020,(06):40-45.