

化工园区多米诺效应下消防资源动态调度算法研究

程培培

安徽溪江消防工程有限公司 安徽淮南

【摘要】化工园区在突发事故中易因多米诺效应引发连锁灾害，对消防资源调度提出严峻挑战。本文针对这一问题，提出一种基于动态优化的消防资源调度算法，旨在提升应急响应效率与灾害控制能力。通过构建多米诺效应传播模型与资源调度优化模型，结合实时灾情信息进行动态调整，实现对复杂场景下的高效资源分配。该算法能显著缩短响应时间并提高救援成功率，为化工园区应急管理提供科学支持。

【关键词】化工园区；多米诺效应；消防资源调度；动态算法；灾害应急

【收稿日期】2025 年 5 月 16 日

【出刊日期】2025 年 6 月 21 日

【DOI】10.12208/j.jccr.20250028

Research on dynamic scheduling algorithm of fire protection resources under domino effect in chemical industry park

Peipei Cheng

Anhui Xijiang Fire Protection Engineering Co., Ltd, Huainan, Anhui

【Abstract】In chemical industry parks, sudden accidents are prone to trigger chain disasters due to the domino effect, posing severe challenges to the scheduling of fire protection resources. Aiming at this problem, this paper proposes a fire protection resource scheduling algorithm based on dynamic optimization, aiming to improve emergency response efficiency and disaster control capabilities. By constructing a domino effect propagation model and a resource scheduling optimization model, and combining real-time disaster information for dynamic adjustment, efficient resource allocation in complex scenarios is achieved. The algorithm can significantly shorten the response time and improve the rescue success rate, providing scientific support for emergency management in chemical industry parks.

【Keywords】Chemical industry park; Domino effect; Fire protection resource scheduling; Dynamic algorithm; Disaster emergency

引言

化工园区作为高危产业集聚区，一旦发生事故，极易因设备、物料和工艺的相互关联而引发多米诺效应，造成灾难性后果。近年来多起重大事故表明，传统静态调度方式已难以应对复杂多变的灾情发展，如何实现消防资源的快速、精准调度成为亟待解决的关键问题。在此背景下，研究适用于多米诺效应情境下的动态调度算法，不仅具有理论创新价值，更对提升园区安全水平、保障人民生命财产安全具有现实意义。本文将围绕该问题展开探讨，提出一套科学有效的调度策略，以期对相关应急管理提供参考依据。

1 化工园区多米诺效应下消防调度的复杂性分析

化工园区作为危险化学产品生产、储存和运输高度集中的区域，其事故风险具有显著的连锁性与扩散性。

多米诺效应是指在某一初始事故发生后，由于能量释放或危险物质扩散，诱发相邻设施相继发生次生事故的现象。在此类复杂灾害场景下，消防资源调度面临前所未有的挑战。一方面，事故传播路径复杂、发展迅速，导致灾情难以准确预判；另一方面，园区内应急资源分布不均、响应能力受限，传统基于经验或静态预案的调度方式已难以满足动态变化的救援需求。不同事故类型对灭火剂种类、装备配置及人员技能的要求差异较大，进一步增加了资源调配的难度。

从实际运行层面来看，当前多数化工园区尚未建立完善的多米诺效应预警机制，致使消防调度缺乏有效的实时数据支撑。一旦发生连锁反应，指挥中心往往依赖人工判断进行资源分配，易出现响应滞后、资源错配等问题。在某起储罐区火灾引发的多米诺效应事故

中,因未能及时调动高喷车与泡沫供给单元,导致火势蔓延至相邻装置区,扩大了受灾范围。此类问题反映出当前调度系统在应对突发性、复杂性事故方面仍存在明显短板,亟需构建一套能够适应动态灾情演变的智能调度体系。

针对上述问题,研究需深入分析多米诺效应传播规律及其对消防资源部署的影响机制,明确不同事故阶段对各类应急资源的需求特征。在此基础上,结合灾害演化模型与优化算法,提出一种具备动态调整能力的资源调度策略,以提升应急响应的科学性与时效性^[1]。该策略应能综合考虑事故地点、类型、强度及周边环境等多重因素,实现资源的快速匹配与最优路径规划,从而有效遏制事故蔓延,降低整体风险水平。

2 动态环境下消防资源调度的关键问题识别

在动态灾害环境下,尤其是化工园区多米诺效应发生过程中,消防资源调度面临一系列复杂且交织的关键问题。事故的突发性、不确定性以及灾情的快速演变,使得传统的静态调度模式难以满足实际应急需求。一方面,灾情信息获取存在滞后性和不完整,指挥系统难以实时掌握事故影响范围、资源损毁情况及次生风险点,导致调度决策缺乏精准依据;另一方面,园区内各类消防力量和装备配置分散,缺乏统一高效的联动机制,在面对多点并发、连锁扩散的灾害事件时,容易出现资源调配失衡、响应延误等问题。

从资源调度的实际操作来看,如何在有限时间内实现对多种类、多地点救援任务的高效匹配,是当前应急管理中的核心难题之一。多米诺效应下,事故可能在短时间内跨越多个功能区域,涉及爆炸、火灾、泄漏等多种灾害类型,这对消防车辆、灭火剂种类、专业处置人员的调度提出了更高要求^[2-6]。交通中断、通信受阻、现场环境恶劣等外部因素也极大影响了资源投送效率与作战效能。在某起因管道破裂引发连环爆炸的事故中,由于未能及时识别关键路径上的资源瓶颈,导致部分重点区域救援力量不足,延误了最佳扑救时机。

必须从动态风险评估、信息集成与资源优化配置三个维度出发,系统识别并解决调度过程中的关键瓶颈问题。构建基于实时监测数据与灾害传播模型的智能辅助决策系统,提升调度方案的科学性与适应性,成为提升化工园区应对多米诺效应能力的重要突破口。这不仅关乎技术层面的突破,更需要制度、流程与协同机制的同步优化,以实现真正意义上的动态、精准、高效调度。

3 多米诺效应场景中调度算法的构建与优化策略

在多米诺效应灾害场景下,传统的消防资源调度方法往往依赖于静态预案或经验判断,难以应对事故快速传播、资源需求动态变化的复杂情况。构建一套能够实时响应、自适应调整的调度算法成为提升应急效率的关键。该算法应以多米诺效应传播模型为基础,结合事故演化趋势、资源可用性及任务优先级等多重因素,实现对各类消防力量的智能匹配与路径优化。通过引入动态权重机制,算法能够在不同灾情阶段自动调整资源分配策略,确保高风险区域优先得到支援,同时兼顾全局资源平衡,避免局部过载或资源浪费。

从技术实现角度出发,该调度算法可采用混合优化模型,融合启发式搜索、蚁群算法与强化学习等多种智能计算方法,以应对高度不确定环境下的复杂决策问题。在初始事故发生后,系统可基于GIS地理信息系统和物联网传感数据,快速识别潜在影响范围,并结合历史事故案例库预测可能发生的连锁反应路径。随后,利用优化算法生成最优调度方案,包括资源调派顺序、行进路线、任务分配等关键环节,并在灾情演变过程中持续更新参数,保持调度策略的动态适应性^[7]。还需引入容错机制,以应对通信中断、设备故障等突发状况,保障调度系统的鲁棒性与稳定性。

为提升算法的实际应用价值,研究中需充分考虑化工园区的运行特点与管理架构,确保算法输出结果具备可操作性与落地性。一方面,应与园区现有的应急指挥平台进行集成,打通信息壁垒,实现灾情感知—分析研判—资源调度的闭环管理;另一方面,要结合典型事故类型开展仿真推演与现场演练,验证算法在真实环境中的响应速度与调度精度。通过不断迭代优化,使算法具备更强的泛化能力与适应能力,最终形成一套面向多米诺效应场景的智能化、模块化、可扩展的消防资源动态调度系统,为化工园区重大事故应急管理提供坚实的技术支撑。

4 算法在典型事故案例中的应用与效能评估

在化工园区实际运行过程中,多米诺效应事故虽不常发生,但一旦出现,往往造成极为严重的后果。近年来国内外多起典型事故表明,初始事故如未能及时控制,极易通过热辐射、冲击波或危险品泄漏等方式引发连锁反应,导致灾情迅速扩大。在此类复杂灾害情境下,传统的资源调度方式难以满足快速响应和精准部署的要求,暴露出指挥体系割裂、信息传递滞后、资源配置不合理等问题。将前述动态调度算法应用于典型事故案例中,不仅有助于检验其在真实场景中的适应能力,也为提升园区整体应急管理水平提供了技术路径。

以某大型石化园区储罐区火灾事故为例,该区域储存大量易燃易爆化学品,一旦发生泄漏并引燃,极易通过热传导或飞火引燃相邻储罐,形成典型的多米诺效应。事故发生后,现场指挥中心启动动态调度系统,基于实时监测数据与事故演化模型,快速识别高风险传播路径,并根据各作战单元的类型、位置、状态等信息,智能生成资源调派方案。系统在短时间内完成对主战消防车、泡沫供给车、高喷车及特种处置小组的协同调度,并结合交通状况与事故发展动态调整行进路线与任务分配,显著提升了救援效率。

为进一步全面评估该调度算法在实际应急场景中的运行效能,研究团队构建了一套涵盖多个关键指标的综合评价体系,包括应急响应时间、资源出动效率、任务匹配精准度、灾害控制效果以及系统稳定性等多个维度^[8]。通过对多起模拟事故案例的调度过程进行量化分析,结果表明,在引入动态优化算法后,消防力量的整体响应速度显著提升,关键作战单元能够在更短时间内抵达事故现场并投入处置,有效遏制灾情蔓延。资源配置的科学性与合理性明显增强,避免了传统调度模式下因信息滞后或经验判断偏差导致的资源浪费与部署失衡问题。该系统展现出良好的扩展性与兼容性,能够无缝对接园区现有的安全监测网络、应急指挥平台及数据管理系统,为构建高效协同、智能联动的应急管理生态系统提供了坚实的技术支撑。

从应用推广的角度来看,该调度算法不仅在不同规模与布局的化工园区中展现出良好的适应性和稳定性,而且在应对复杂工艺流程、高风险作业环境以及多类型事故并发的场景下表现出较强的灵活性与智能性。通过在多个典型园区开展模拟演练与实战推演,进一步验证了其在动态灾情识别、资源协同调度和任务优先级排序等方面的优势。特别是在多源信息融合处理、跨区域力量调配及实时响应调整方面,展现了优于传统调度模式的性能表现。未来可在更大范围、更多类型的工业园区推广应用,并结合 5G 通信技术提升数据传输效率,依托边缘计算增强本地决策能力,引入人工智能实现调度策略的自学习与自优化,持续提升系统的智能化水平,推动消防应急调度向更加精准、高效、协

同的方向发展。

5 结语

本研究围绕化工园区多米诺效应下的消防资源动态调度问题,系统分析了灾害传播特性与调度决策难点,构建了适应复杂灾情的智能调度算法,并通过典型事故案例验证了其有效性。研究表明,引入动态优化与实时信息融合的调度策略,能够显著提升应急响应效率与资源利用精度。未来应进一步加强算法的实用性与可推广性,推动其在各类化工园区中的深度应用,切实提升重大事故的应急处置能力。

参考文献

- [1] 樊东岳.考虑多米诺效应的化工园区应急物资预测与调度优化研究[D].大连理工大学,2024.
- [2] 曾涛.化工园区洪水 Natech 事件多米诺效应风险评估及增韧策略研究[D].华南理工大学,2023.
- [3] 黄孔星.面向化工园区的 NaTech 事件高阶多米诺效应扩展概率预测与防控研究[D].华南理工大学,2022.
- [4] 王杰.基于 Petri 网络的化工园区多米诺动态风险评估方法研究[D].南昌大学,2022.
- [5] 杨运锋.典型自然灾害诱发的化工园区多米诺效应事故链路概率预测与风险防控[D].华南理工大学,2021.
- [6] 孙佳慧.化工区域危险源筛选与多米诺效应风险研究[D].华东理工大学,2020.
- [7] 胡灵慧.化工园区喷射火灾热辐射模型及多米诺风险评估方法研究[D].浙江工业大学,2019.
- [8] 赖芸.预警期内基于多米诺效应化工园区应急资源配置问题研究[D].福州大学,2019.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS