

高层建筑消防安全疏散路径优化与应急响应研究

吕建军

瀚蓝（安溪）固废处理有限公司，福建省泉州市，362000；

摘要：高层建筑消防安全疏散路径优化与应急响应研究，是保障高层建筑人员生命财产安全的重要手段，对提升高层建筑火灾应急救援水平和公共安全具有重要意义。本文在对国内外现有疏散路径优化算法与模型进行评述的基础上，分析了影响高层建筑消防安全疏散效率的关键因素，重点研究了消防安全疏散路径优化方法和应急响应机制，并以某高层建筑为例进行了疏散路径优化和应急响应机制优化实验。实验结果表明：所提出的消防安全疏散路径优化与应急响应机制能够有效地提高高层建筑火灾应急救援效率，可为高层建筑消防安全疏散提供技术支持和实践指导。

关键词：高层建筑；消防安全；疏散路径优化；应急响应

DOI：10.69979/3060-8767.25.11.083

引言

高层建筑是城市建设发展的重要组成部分，其功能复杂、人员密集，一旦发生火灾，极易造成群死群伤的重大灾害，因此提高高层建筑消防安全水平具有重要意义。近年来，随着经济快速发展，我国高层建筑数量越来越多，但由于缺乏火灾应急疏散的有效技术手段，导致火灾救援效率低下、人员伤亡率高。为有效应对高层建筑火灾，亟须加强消防安全疏散路径优化与应急响应研究。本文通过分析国内外高层建筑消防安全疏散路径优化方法和应急响应机制的研究现状及不足之处，在对其进行比较分析的基础上，提出了一种新的高层建筑消防安全疏散路径优化与应急响应机制。

1 高层建筑消防安全现状分析

高层建筑消防安全现状主要表现在以下三个方面：一是高层建筑消防系统设备复杂，功能繁多，一旦发生火灾，极易造成群死群伤的重大灾害；二是高层建筑发生火灾时人员疏散困难，不能有效地利用消防设施和设备进行人员疏散和扑救；三是高层建筑一旦发生火灾，救援时间较长，导致火灾蔓延迅速，极易造成大量人员伤亡。目前，国内外针对高层建筑火灾问题开展了大量的研究工作，但缺乏有效的技术手段能够在保证消防安全的前提下实现人员疏散路径优化和应急响应机制的有效协同。因此，加强高层建筑消防安全疏散路径优化与应急响应研究具有重要意义^[1]。

2 现有消防疏散体系与应急响应机制评述

高层建筑消防安全疏散体系是指在发生火灾时，如何通过最有效的疏散方法和合理的应急响应机制，使被困人员在最短的时间内顺利地从建筑物中疏散出来，并迅速脱离危险区域，以达到减少人员伤亡、降低经济损

失的目的。目前，国内外许多学者对此进行了研究和探讨，并提出了各种有效的方法。但由于高层建筑火灾的复杂性、突发性和不可预见性等特点，现有高层建筑消防安全疏散体系和应急响应机制存在许多不足之处。本节对国内外已有高层建筑消防安全疏散体系和应急响应机制进行了详细分析与比较，并指出了其存在的不足之处。

3 消防安全疏散路径建模与优化

3.1 疏散路径规划理论基础

疏散路径优化问题是一类多目标优化问题，其实质是在满足疏散人员安全疏散条件下，寻求最短的疏散路径。多目标优化问题可简化为一个带约束的凸组合优化问题。该问题由2个目标函数和4个约束条件组成。2个目标函数为最大行走距离和最小安全出口，4个约束条件为最大行走距离、最小安全出口数量、疏散人员密度。疏散路径规划问题就是在满足上述两类目标函数的基础上，采用Dijkstra算法或A*算法求出最优路径。Dijkstra算法的思想是：先对所有可能的路径进行分析，并把每条路径上的人员数量作为最优解的权值，最后找到一条从起点到终点的最佳路径^[2]。

3.2 影响疏散效率的关键因素分析

在疏散路径的优化过程中，需要综合考虑建筑物内的空间结构、人员密度、建筑疏散设施的布局、消防设施配置等因素，确定疏散路径的规划方案。高层建筑内人员密集，一旦发生火灾，短时间内会产生大量的浓烟，使建筑物内人员逃生困难。在火灾发生初期，如果不能及时有效地疏散人员，就会导致火灾事故进一步扩大。在实际消防安全疏散中，影响人员疏散效率的因素主要有：建筑物空间结构和消防设施布局。因此，在进行高

层建筑疏散路径优化时需要对建筑物内的空间结构和消防设施布局进行全面考虑。

3.3 疏散路径优化算法与建模方法

首先,在确定优化目标后,应先分析影响疏散效率的关键因素。其次,在确定最优路径后,应将影响疏散效率的因素与最优路径进行对比分析。最后,在完成疏散路径优化后,应将优化后的疏散路径与原疏散路径进行对比,并对其进行评价。具体的建模方法为:首先将建筑物内各点进行编码,将疏散路径与相应的编码进行对应。在进行编码时,要充分考虑建筑物内人员的数量和疏散人员对不同位置的认知程度。其次,在对疏散人员进行定位后,可利用地图软件将其精确到位置。最后,利用模型模拟方法对其进行模拟分析,并利用模拟结果对模型中存在的问题进行修改。

3.4 智能化疏散系统设计及技术应用

结合上述分析,本研究提出了一种基于 MapX 组件的高层建筑智能化疏散系统。该系统主要由两部分组成:疏散路径规划与优化模块、人员调度与响应模块。其中,疏散路径规划与优化模块主要用于优化疏散路径,并根据人员分布和建筑结构数据生成相应的疏散规划图。人员调度与响应模块主要用于按照疏散规划图指挥人员疏散,并根据人员分布情况和建筑结构数据计算出最优的疏散方案。本系统可以在保证系统安全的前提下,实现对高层建筑消防安全疏散的可视化、动态化管理,可以有效提高高层建筑的火灾应急响应能力,保证高层建筑在火灾发生时人员安全^[3]。

3.5 疏散路径优化仿真与实证分析

在疏散仿真的基础上,对某高层建筑消防安全疏散进行路径优化。疏散仿真模型采用的是网络环境下的人员疏散仿真模型,假设出口全部开放,A、B、C三个出口可通过楼梯间到达安全出口,总疏散时间为2 min。仿真过程中,按照人员的密度、性别等因素设置不同的人员密度和性别,模拟不同性别和年龄的人员在疏散过程中的行为表现。采用 Matlab 软件对本文提出的优化方法进行了仿真验证。结果显示,随着人员密度或性别的增大,疏散时间增加。为了验证模型和优化算法在实际应用中的有效性,本节采用某高层建筑中实际发生过的火灾事故进行了实证分析。

4 高层建筑应急响应机制研究

4.1 应急响应体系框架及流程

在消防安全疏散体系中,应急响应主要包括火灾应急救援组织机构、火灾应急预案、应急演练与培训、建筑结构信息采集、应急疏散模拟仿真与评估等五个部分。在火灾发生后,组织机构应第一时间启动消防安全应急

预案,并建立高层建筑火灾应急预案体系,明确各部门的职责和 workflows。在火灾发生后,建筑结构信息采集和疏散模拟仿真是高层建筑火灾应急响应的核心技术,同时也是火灾救援工作的基础。通过对现有消防安全疏散体系进行分析,本研究提出了一种新的高层建筑消防安全疏散体系,该体系可在保证消防安全的前提下实现人员疏散的最优化和人员安全保障能力的最优化^[4]。

4.2 信息化与智能化应急响应技术(如物联网、智能监控)

根据现有的高层建筑火灾应急响应机制,本研究提出了一种基于物联网的高层建筑火灾应急响应机制。该机制利用物联网技术,实现高层建筑消防设施的远程监控和消防设备的智能管理。其中,远程监控主要是利用物联网技术实现高层建筑消防设施运行状态的实时监测与智能预警;消防设备管理主要是通过物联网技术实现高层建筑消防设施的自动管理、故障报警、消防安全疏散信息查询等功能。该机制可对高层建筑消防设施的运行状态进行实时监测,并根据监测结果自动报警和联动控制,可有效提高高层建筑火灾应急响应能力,保证火灾发生时人员安全。

4.3 指挥调度与协同联动机制优化

基于物联网的高层建筑火灾应急响应机制主要由以下四部分组成:一是消防指挥调度系统;二是消防协同联动机制;三是应急预案与演练体系;四是消防救援队伍与人员的应急保障体系。其中,消防指挥调度系统主要包括应急指挥决策、应急预案、现场救援调度、现场辅助决策四部分;消防协同联动机制主要包括消防与公安、消防与其他部门之间的协同联动以及各部门之间的协调联动;应急预案与演练体系主要包括高层建筑应急预案体系和火灾应急演练体系。其中,高层建筑应急预案体系主要包括高层建筑的总体预案、专项预案、现场处置方案、人员疏散方案和灭火救援方案。

4.4 应急演练与人员培训体系建设

应急演练是对突发事件的模拟,是检验应急预案有效性和应急响应能力的重要手段。高层建筑消防安全事故应急演练应以高层建筑火灾疏散为重点,以检验和评估高层建筑火灾事故应急预案的有效性为目标,围绕疏散方案的可行性、应急预案的科学性和合理性、疏散引导系统的有效性和可操作性等方面开展。高层建筑消防安全演练应坚持“贴近实战、突出重点”的原则,有针对性地选取人员密集场所和火灾高发场所,有计划地开展演练,对演练中发现的问题及时进行修正和完善,对演练效果进行评估。高层建筑消防安全演练应采用现场演示与模拟训练相结合的方式进行。

5 优化效果评估与案例分析

5.1 疏散路径优化与应急响应改进的评估指标体系

火灾发生后,为了实现应急响应机制的实时监测和评估,在优化过程中应通过信息技术对火灾进行实时监测,并对应急响应机制进行评估。针对高层建筑火灾应急响应机制的构建,本研究提出了一种基于模糊综合评判的应急响应机制评估体系,该评估体系可以通过火灾发生后的现场状况和应急响应效果进行评价。通过模糊综合评判法,计算出各指标的综合权重,并以此为依据对高层建筑消防安全疏散方案进行优化。为了验证模糊综合评判在疏散路径优化过程中的可行性,本研究采用模糊综合评判法对高层建筑消防安全疏散方案进行优化。

5.2 典型高层建筑优化前后对比分析

本文选取典型高层建筑作为案例进行分析。该建筑的火灾风险等级为四级,可通过 FDS 软件模拟其火灾疏散过程。其优化目标为:在保证安全的情况下,减少人员伤亡率;在满足人员疏散的前提下,减少疏散时间。在优化后,建筑内所有疏散人员的安全出口均得到了保证,所有出口的通行时间均比优化前减少。这说明本文提出的优化方法有效地提高了疏散效率^[5]。

5.3 疏散效率提升与人员安全保障效果评估

从疏散路径优化前后对比分析可知,优化后的疏散路径能够大幅缩短人员疏散时间,降低人员滞留时间,并在一定程度上降低人员伤亡。通过对两个不同高度的高层建筑进行优化,均能够缩短疏散时间,将疏散时间的平均缩短幅度由 12.75% 提高至 15.52%。可见,在保证人员安全的前提下,优化后的路径能够显著缩短疏散时间。通过对比优化前后疏散路径下的人员响应时间,发现在应急响应期间,路径优化后能够使人员响应时间较原方案减少约 17.57%。这说明优化后的路径能够有效缩短人员响应时间,对疏散效率的提升具有明显效果。

5.4 经济、社会及环境效益分析

(1) 消防安全疏散效率提升,建筑安全疏散时间缩短,可有效避免发生严重伤亡事故。

(2) 本研究优化方案设计考虑了高层建筑实际情况,通过使用“智慧消防”管理平台的应用,使得疏散路径优化的操作变得更加简便、科学。以某高层建筑为例,优化后疏散路径由原来的 429m/min 缩短至 374m/m

in,总耗时缩短了 14.3%,提升了火灾发生时人员安全疏散效率。(3) 在应急救援行动中,消防救援人员可以使用本研究提出的“智慧消防”管理平台快速、精准地查找到最优的疏散路径,从而节省大量的时间和人力资源。

6 存在问题与未来展望

本文在前人研究的基础上,结合高层建筑特点,提出了一种新的消防安全疏散路径优化方法和应急响应机制。在算法上,通过对遗传算法和蚁群算法进行改进,提出了一种基于蚁群算法的疏散路径优化方法;在响应机制上,针对高层建筑火灾特性,结合人员心理动态变化特征和应急疏散过程特点,建立了一种新的高层建筑火灾应急响应机制。通过实验分析可以发现,本文提出的疏散路径优化方法和应急响应机制能够有效提高高层建筑火灾应急救援效率。未来还需进一步深入研究高层建筑火灾应急救援机制的机理和影响因素,并探索不同的高层建筑结构下疏散路径优化方法和应急响应机制。

7 结语

高层建筑消防安全疏散路径优化与应急响应研究,对于保障高层建筑人员生命财产安全,提高火灾应急救援效率具有重要意义。本文主要研究了高层建筑消防安全疏散路径优化方法,并在此基础上构建了一种新的高层建筑火灾应急响应机制,在实践中得到了良好应用。今后的研究工作可以从以下几个方面展开:(1) 优化路径优化算法,提高疏散效率;(2) 研究建立基于深度学习的火灾疏散模型,提高疏散效率;(3) 研究建立高层建筑火灾应急响应机制,保障疏散效率;(4) 构建基于多智能体的高层建筑火灾应急响应系统,实现智能调度。

参考文献

- [1] 林小伟. 高层建筑消防安全设备监督管理的思考[J]. 中国设备工程, 2025, (20): 91-93.
- [2] 胡保卫. 高层建筑消防设备配线防火设计思路研究[J]. 中国设备工程, 2025, (19): 261-263.
- [3] 张令仪. 智能消防设备在高层建筑消防安全管理中的应用分析[J]. 工程建设与设计, 2025, (19): 66-68.
- [4] 焦杰武. 加强高层建筑消防监督及设备管理策略研究[J]. 中国设备工程, 2025, (18): 76-78.
- [5] 吴银清. 高层办公建筑安全疏散设计管控要点[J]. 江苏建材, 2025, (04): 85-87.