

中文引用格式:吴恙龙,刘顶立,袁狄平,等. 基于街区可达性的消防救援辖区划分方法[J]. 中国安全科学学报,2025,35(10): 181-189.

英文引用格式:WU Yanglong, LIU Dingli, YUAN Diping, et al. Firefighting response zone division method based on block accessibility[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(10): 181-189.

基于街区可达性的消防救援辖区划分方法^{*}

吴恙龙^{1,2}, 刘顶立^{**1,2}副教授, 袁狄平²教授, 刘伟军¹副教授,
徐志胜³教授, 雷晓¹

(1 长沙理工大学 交通学院, 湖南 长沙 410114; 2 中国矿业大学 深圳研究院,
广东 深圳 518000; 3 中南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410075)

中图分类号:X932

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.10.0604

基金项目:国家自然科学基金青年项目资助(52204202);深圳市科技计划资助项目(CXFZ2023073109390200)。

【摘要】 为提高消防救援辖区的应急响应效率,提出1种基于街区可达性的消防救援辖区划分方法;该方法通过街区边界提取、消防站和需求点定位获取基本数据,并借助在线地图获取多段实时路况数据,计算各消防站到达每个街区的综合行程时间,以此作为划分依据;根据最短时间将街区划归相应消防站,输出辖区划分方案及区域整体可达性评估结果;以研究区域HN-FR的8个消防站、10 067个需求点为案例,提取542个街区单元,并通过29个场景下的约61.85万组数据样本进行分析。结果表明:HN-FR区域的整体可达性时间为435.96 s,整体消防救援可达性较差。此外,8个消防站辖区划分面积差异显著,范围为0.37~12.36 km²。造成这种差异的主要原因在于部分消防站过于靠近HN-FR的边界,能覆盖范围极小。

【关键词】 街区可达性; 消防救援辖区; 消防站; 实时路况; 辖区划分

Firefighting response zone division method based on block accessibility

WU Yanglong^{1,2}, LIU Dingli^{1,2}, YUAN Diping², LIU Weijun¹,
XU Zhisheng³, LEI Xiao^{1,2}

(1 School of Transportation, Changsha University of Science and Technology, Changsha
Hunan 410114, China; 2 Shenzhen Research Institute, China University of Mining and
Technology, Shenzhen Guangdong 518000, China; 3 School of Civil Engineering,
Central South University, Changsha Hunan 410075, China)

Abstract: In order to enhance the emergency response efficiency of fire rescue zones, a block accessibility-based method for dividing fire rescue territories was proposed. Basic data were obtained through block boundary extraction, as well as the localization of fire stations and demand points. Multi-

^{*} 文章编号:1003-3033(2025)10-0181-09; 收稿日期:2025-06-01; 修稿日期:2025-08-22

^{**} 通信作者:刘顶立(1990—),男,湖南长沙人,博士,副教授,主要从事火灾风险防控及消防救援方面的研究。E-mail: liudingli@csust.edu.cn。

period real-time traffic data were acquired via an online map to calculate the integrated travel time from each fire station to every block unit, which served as the basis for division. Blocks were assigned to the corresponding fire station based on the shortest accessibility time. Finally, an optimized zoning scheme and an evaluation of the overall regional accessibility were output. A case study was conducted in the HN-FR area, involving 8 fire stations and 10 067 demand points. A total of 542 block units were extracted, and analysis was performed using 618 483 data samples across 29 scenarios. Results indicate that the overall accessibility time for the HN-FR region is 435.96 s, reflecting relatively poor fire rescue accessibility. Furthermore, significant disparities are observed in the areas of the eight fire station territories, ranging from 0.37 to 12.36 km². This variation is primarily attributed to the proximity of some fire stations to the boundary of HN-FR, resulting in minimal coverage capacity.

Keywords: block accessibility; firefighting response zone; fire station; real-time traffic conditions; zone division

0 引言

火灾对经济、环境和人身安全等均会造成严重危害^[1-2]。国家消防救援局数据显示,2024年,全国(不包含港澳台地区)消防救援队伍共接报火灾90.8万起,死亡2 001人,直接财产损失77.4亿元^[3]。及时精准的消防救援服务是减小火灾损失的有力手段。由于消防站建设运营投入大,我国难以大规模新增消防站。在资源有限的背景下,准确了解区域消防救援水平和合理规划消防站辖区能有效提高消防救援效率^[5],为科学高效地配置及调度消防救援资源提供重要依据。

关于消防救援可覆盖范围的计算方法及其优化,现有研究多以集合覆盖模型^[4]、最大覆盖模型^[4]、多目标模型^[5-6]、专家打分法^[7]等进行消防站点选址和优化,但传统模型未考虑影响行政区划、自然地理、道路等实际救援过程的因素。地理信息系统(Geographic Information System, GIS)技术能考虑地理环境、交通网络等因素^[8],提供精确地理分析与可视化^[9],帮助决策者识别最佳位置。而以往基于GIS的消防站选址研究中,并未考虑交通路况变化影响,且GIS中路网数据多为滞后^[10-11]。故传统GIS方法在准确掌握消防救援范围变化方面存在一定局限^[12]。随着在线地图定位导航等功能的发展,在线地图应用程序编程接口服务(Application Programming Interface, API)能获取实时交通数据并计算任意2地间的出行距离,为传统站点选址与优化方法提供改进空间,显著提升对消防救援可覆盖范围的精准把握^[13]。尽管基于在线地图的消防服

务覆盖范围研究已较成熟,但现有研究主要集中在增设消防站评估^[14-16]。由于消防站的增设常受到土地资源和经济条件限制,短期内难以大规模实现,因此,在现有消防站布局不变情况下提升消防效率成为亟待解决的关键问题。

我国《城市消防规划规范》(GB 51080—2015)指出,单个消防站辖区面积通常以消防站为圆心,绘制圆形的方式来划定范围。该方法简单假设消防救援路线为“直线”,且未考虑实时路况对行驶路线选择及行驶时间的影响。然而,由于路网形态和地形的影响,无法直接依据圆形区域划分辖区范围,消防部门更倾向以道路为边界的街区划分方式进行辖区的界定。在实际应用中,我国消防救援调度主要遵循《119接警调度工作规程》(XF/T1339—2017)的“就近调度、等级调度”原则。研究人员多以网格^[17]、等时圈^[18]和GIS的Network Analyst^[19]等传统算法确定消防救援覆盖范围。尽管这些方法在学术研究中取得了一定成果,但实际应用中却面临诸多挑战^[20]。当前针对消防救援可达性的研究,尚未考虑到街区这一要素。而实际划分消防救援辖区时,通常需结合行政区划与街区单元来进行。因此,亟需合理且实用的辖区划分方法。

鉴于此,笔者拟提出一种基于街区可达性的消防救援辖区划分方法,旨在更精准划分区域内各消防站辖区,该方法采用符合实际应用的街区标准,基于交通流量和实际行车时间的实时分析,系统性划分城市消防救援网络,以期消防部门提供消防救援辖区划分参考,提高应急响应效率。

1 消防救援辖区划分方法

1.1 消防救援辖区划分框架

提出基于街区可达性的消防救援辖区划分方法,该方法结合路径简化技术,以街区为单元进行辖区划分。该方法核心流程包括街区边界提取、消防站和需求点定位、街区单元与区域整体可达性计算、可达性等级和辖区划分,如图 1 所示。

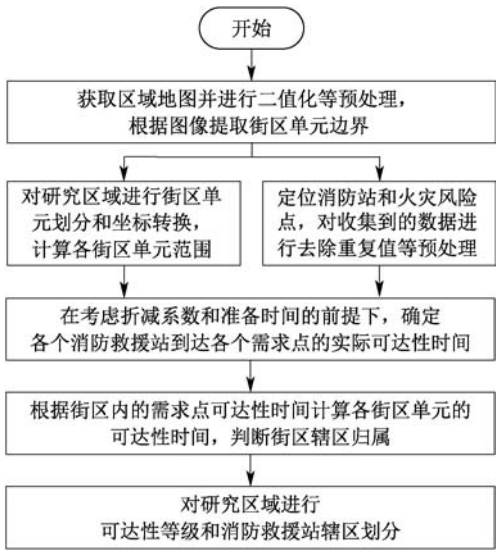


图 1 方法流程

Fig. 1 Method flowchart

1.2 街区单元边界提取方法

为准确划分消防站责任辖区,需提取研究区域内各街区单元边界。采用图像识别方法提取街区边界。具体步骤包括:在线地图 API 获取区域图像,提取道路和水体轮廓,简化边界路径与实际经纬度坐标匹配。

通过在线地图 API 获取覆整个研究区域图像。经二值化处理图像与边界追踪后,得到所有道路及水体路径。为进行路径简化,需计算轮廓转折点间的欧氏距离,为此,建立一个以图像左下角为原点 $(0,0)$ 的二维图像坐标系。对于任一由 h 个顶点构成的闭合轮廓 α ,其顶点序列可表示为 $P_0, P_1, P_2, \dots, P_{h-1}$,其中,最后一个顶点 P_{h-1} 与起始顶点 P_0 相连,使轮廓闭合。每个顶点坐标记为 $P_g(x_g, y_g)$ $(g=0, 1, 2, \dots, h-1)$ 。计算相邻顶点间欧氏距离 d_g 按下式计算,当 $g \geq 1$ 时, d_g 表示 P_g 到 P_{g-1} 的距离;当 $g=0$ 时, d_0 特指连接轮廓首尾的线段,即 P_{h-1} 到 P_0 的距离。

$$d_g = \sqrt{(x_g - x_{g-1})^2 + (y_g - y_{g-1})^2}$$

$$(g = 0, 1, \dots, h - 1) \tag{1}$$

确定一个分解点 P_g 后,需找出与其距离最远点为另外一个。以 Douglas-Peucker (DP) 算法确定区域内道路的简化轮廓,而后进行坐标匹配以获得街区边界真实经纬度。

1.3 消防站和需求点

以响应时间为核心指标,提出一种基于街区可达性的消防救援辖区划分方法。该方法通过精确定位消防站和需求点,结合实时交通数据计算消防站到各街区可达性时间合理划分辖区。

需求点与消防站的精确定位是计算消防救援可达性的基础。通过实地调查或以消防部分发布的数据确定研究区域内消防站的位置。需求点可通过历史火灾点数据、在线地图兴趣点数据 (Point Of Interest, POI)、现场调查数据等方式获取。

1.4 街区单元与区域整体可达性计算

街区辖区归属取决于从各消防站出发的消防车到达该街区的最短实际行驶时间。为准确反映各消防站到到达各街区的消防救援可达性,计算每个消防站到街区单元内所有需求点的平均行驶时间,评估街区整体可达性。基于平均行驶时间,比较不同消防站响应能力以确定街区的最终可达性时间。

先考虑研究区域内多个消防站和多个街区单元之间的可达性。假设有 k 个消防站和 z 个街区单元。每个街区单元 u 包含需求点 n_u ,每个时间点 j 对应一个特定时刻 t_j ,其中, $j \in [1, m]$ 。为衡量消防车的可达性,详细计算每个街区单元内从每个消防站到所有需求点的实际行车时间。

由于消防车在执行紧急任务时享有优先通行权,且在出发前需要一定准备时间,因此,实际行驶时间 $T_{j,ri}$ 由路程时间 $T'_{j,ri}$ 通过折减系数 β 折减和准备时间 T_p 求得,如下式:

$$T_{j,ri} = \beta \cdot T'_{j,ri} + T_p \tag{2}$$

对于消防站 r 而言,街区单元 u 内所有需求点的平均行驶时间 $T_{j,r}(u)$ 按下式计算:

$$T_{j,r}(u) = \frac{\sum_{i=1}^{n_u} T_{j,ri}}{n_u} \tag{3}$$

由于交通状况随时间动态变化,单一时刻行程时间难以全面反映消防车的实际通行能力。为更全面反映消防车的通行能力,引入时间加权概念,通过综合考虑多个时间点的行程时间,计算消防车到达街区单元的综合可达性时间。

加权不同时间点,可更准确反映每个消防站 r 在整段时间内到达街区 u 综合行程时间 $T_r(u)$,如下式:

$$T_r(u) = \frac{1}{t_m - t_1} \sum_{j=1}^{m-1} \frac{1}{2} (T_{j,r}(u) + T_{j+1,r}(u)) (t_{j+1} - t_j) \quad (4)$$

街区 u 的街区单元可达性时间 $T_B(u)$ 可由下式计算所得,将街区 u 划为所对应消防站 R 的辖区。

$$T_B(u) = \min \{ T_1(u), T_2(u), \dots, T_k(u) \} \quad (5)$$

采用面积加权法扩展到整个研究区域 U 获得整个区域可达性时间。每个街区 u 的可达性时间根据其面积在研究区域总面积中的比例进行加权,从而反映不同街区对整体可达性的贡献。研究区域在时间点 j 的可达性时间 $T_{B,j}(U)$ 由 $T_B(u)$ 对应的各时间点 j 的 $T_{B,j}(u)$ 求得,如下式:

$$T_{B,j}(U) = \sum_{u=1}^z (T_{B,j}(u) \frac{S_u}{\sum_{u=1}^z S_u}) \quad (6)$$

为获得整个研究区域整体可达性时间 $T_B(U)$, 时间加权所有 j 的 $T_{B,j}(U)$, 如下式:

$$T_B(U) = \frac{\sum_{j=1}^{m-1} (T_{B,j}(U) + T_{B,j+1}(U)) (t_{j+1} - t_j)}{2(t_m - t_1)} \quad (7)$$

1.5 可达性等级和辖区划分

发生火灾时,消防车到达火灾地点所需时间被认为对减少人员伤亡和财产损失具有决定性影响。我国《城市消防站建设标准》明确规定,300 s (5 min) 为消防响应黄金时间。为此,以 300 s 为核心分界点,将 150 s 作为等级划分区间,建立 6 个风险等级。根据现有研究,超过 750 s 后火灾损失风险增幅趋缓^[21],故将 750 s 作为最高等级的阈值。若

计算范围共 z 个街区单元,街区 u 对应的面积为 S_u , 根据每个街区单元的街区可达性时间 ($T_B(u)$), 将 z 个街区单元划分为 6 个不同的可达性等级。若 w 型街区共 z_w 个, $w(w \in [1,6])$ 型街区的面积 A_w 和 w 型街区覆盖率 P_w 按下式计算:

$$A_w = \sum_{u=1}^{z_w} S_u \quad (8)$$

$$P_w = \frac{A_w}{\sum_{u=1}^z S_u} \quad (9)$$

得到所有消防站对街区 u 的整体可达性平均时间后,比较所有消防站的平均时间,选择最短可达性平均时间为 u 的可达性时间 $T_B(u)$, 将 u 范围划分到该消防站的辖区。假设消防站 r 辖区内共有 z_r 个街区单元,则消防站 $FS-r$ 的辖区面积 S_{FS-r} 为这些街区面积总和,如下式:

$$S_{FS-r} = \sum_{u=1}^{z_r} S_u \quad (10)$$

2 消防救援辖区划分方法实例

2.1 研究区域

选择中国某城区 HN-FR 为研究区域,2023 年,HN-FR 国内生产总值 1 381.58 亿元,常住人口 60 万,除去河流和道路总面积有 44.21 km²。HN-FR 为国内重要的城市区域,若发生火灾将产生极大的经济损失与人员伤亡。研究区域消防站和需求点密度分布情况如图 2 所示,HN-FR 现有 7 个消防站 (FS-1—FS-7), 1 个拟建消防站 (FS-8)。通过街区单元边界提取得出 HN-FR 共 542 个街区。图 2 中,基于百度地图 API 获取 10 067 个需求点和消防站,进行核密度分析以可视化分布。

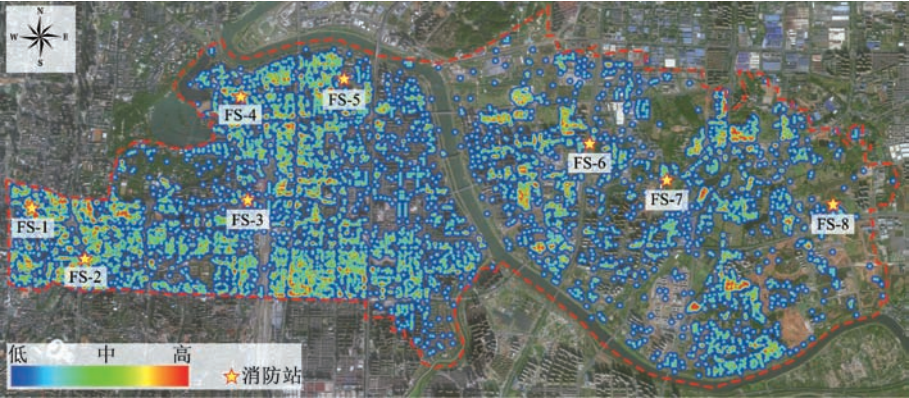


图 2 研究区域消防站和需求点密度分布情况

Fig. 2 Density distribution of demand points and fire stations in the study region

2.2 估算场景

为准确估算区域内各消防站的辖区以及消防救援覆盖范围,在 2025 年 2 月 20 日 12:00—21 日 12:00 这一时间段共设置 29 个估算场景。在周期内每隔 1 h 设置一个估算场景的基础上,增设 17:30、18:30、07:30、08:30。高峰期交通状况的变化更为剧烈,需更密集的场景捕捉显著变化,以准确估算消防救援实际可达性。

3 街区可达性与辖区划分结果与讨论

3.1 街区可达性分析

通过对整体数据的计算分析,每种场景下得到的有效样本 21 327 条,29 个场景中共获得 618 483 组样本数据。HN-FR 的 $T_B(U)$ 为 435.96 s, $A_w(w \in [1,6])$ 和 $P_w(w \in [1,6])$ 见表 1。结果表明: $A_w(w \in [1,2])$ 总和为 6.48 km², 占总面积 14.65%, 这表明: 当前研究区域优化情形下消防响应时间仍难满足接警后 5 min 抵达事故现场要求, 亟需采取有效措施优化消防救援可达性。建议政府部门加大消防救援资源投入, 考虑增设消防站或优化现有资源的布局, 以提升区域的消防救援能力和覆盖水平。

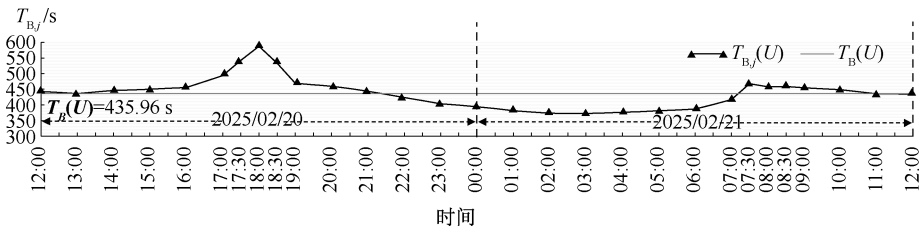


图 3 29 种场景下研究区域 $T_{B,j}(U)$

Fig. 3 $T_{B,j}(U)$ for 29 scenarios in the study region

2 种典型估算场景($T_B(U)$ 波峰和波谷)下研究区域的可达性等级,如图 4 所示。在评价结果最理想的场景(2025 年 2 月 21 日 03:00)下,研究区域

表 1 $T_B(u)$ 分类及详细数据

$T_B(u)$	$A_w(w \in [1,6])/km^2$	$P_w(w \in [1,6])/\%$
$[0,150)$	0.50	1.13
$[150,300)$	5.98	13.52
$[300,450)$	19.77	44.72
$[450,600)$	11.72	26.50
$[600,750)$	5.37	12.16
$[750,+\infty)$	0.88	1.98

29 种场景中 $T_{B,j}(U)$ (图 3) 和 $A_w(w \in [1,6])$ (表 2) 显示,消防应急响应时效存在显著昼夜时空异质性,差异特征与城市交通潮汐现象呈强相关。07:00—09:00 及 17:00—19:00 通勤高峰时段形成双峰波动态势。同时,火灾发生与伤亡特征的时间分布与交通拥堵情况高度同频;据火灾统计分析^[4],10:00—20:00 时段火灾起数占比达 61.40%, 此时段庞大火灾基数与高峰交通阻滞形成复合风险;00:00—06:00 时段虽然火灾占比仅 10.30%,但由于人员处于深度睡眠状态、自救能力锐减,其死亡人数占比骤达 31.30%,且该时段发生较大以上火灾事故占 48.60%。为应对此类现状,应建立精细化的动态响应机制。针对昼间高频次、高流量特征建议实行消防资源动态调度策略。

整体救援时间最短,为 372.32 s, $T_{B,j}(u) < 300$ s 街区总面积为 10.33 km²。通勤高峰时段(2025 年 2 月 20 日 18:00),可达性最不理想,交通拥堵对消

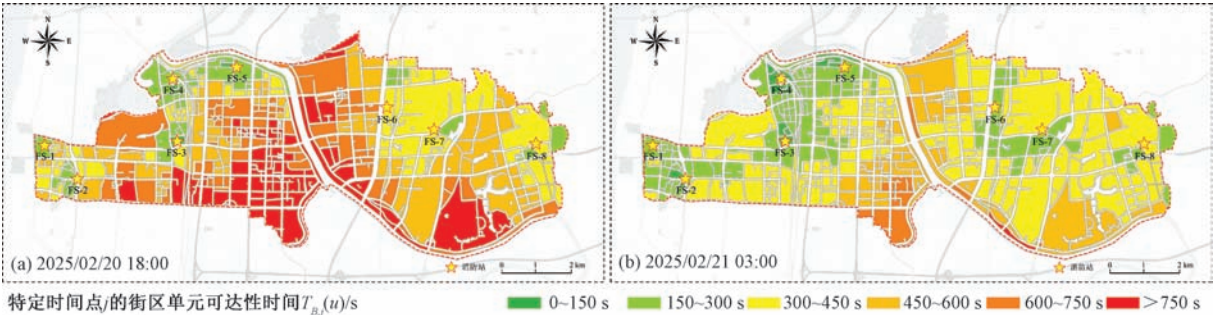


图 4 研究区域特定时间点的可达性分布

Fig. 4 Accessibility distribution at specific time points in the study region

表 2 29 种场景中研究区域 $A_w(w \in [1,6])$
Table 2 $A_w(w \in [1,6])$ for 29 Scenarios in the

	study region						km ²
时间	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	
12:00	0.45	5.52	19.35	12.32	5.83	0.74	
13:00	0.39	5.99	18.12	13.12	5.53	1.07	
14:00	0.39	5.99	18.12	13.12	5.53	1.07	
15:00	0.46	6.08	18.15	11.51	6.88	1.14	
16:00	0.21	6.19	16.37	13.39	6.80	1.26	
17:00	0.38	4.26	14.81	15.05	7.19	2.52	
17:30	0.27	4.06	12.22	13.24	7.06	7.36	
18:00	0.17	3.94	9.86	11.23	9.20	9.82	
18:30	0.17	4.31	12.25	14.50	7.35	5.64	
19:00	0.24	5.23	16.19	14.05	6.16	2.35	
20:00	0.34	5.27	17.60	13.06	6.09	1.86	
21:00	0.64	5.23	18.04	13.52	5.78	1.00	
22:00	0.48	6.68	20.88	10.74	4.75	0.68	
23:00	0.68	7.90	22.68	10.34	2.43	0.18	
00:00	0.56	8.07	23.63	9.84	1.94	0.16	
01:00	0.69	9.11	23.84	8.75	1.66	0.16	
02:00	1.07	9.95	23.27	8.35	1.41	0.16	
03:00	0.92	9.42	23.56	8.59	1.57	0.16	
04:00	0.72	9.52	24.28	7.88	1.66	0.16	
05:00	0.84	9.19	23.17	9.00	1.85	0.16	
06:00	0.72	9.33	22.88	9.57	1.55	0.16	
07:00	0.53	8.01	20.60	9.81	4.89	0.37	
07:30	0.43	5.39	16.73	11.25	8.95	1.46	
08:00	0.33	6.14	15.42	15.07	5.61	1.65	
08:30	0.33	5.65	17.00	13.59	6.09	1.56	
09:00	0.36	5.69	16.76	13.64	6.34	1.42	
10:00	0.28	6.38	17.27	12.71	6.71	0.87	
11:00	0.24	6.35	20.10	11.38	5.39	0.76	
12:00	0.36	6.10	20.89	10.99	5.30	0.58	

防救援可达性的影响尤为显著。在交通量较大的情况下,应将消防救援资源提前调度到火灾高风险区域,以提高消防救援服务及时性。

街区单元的研究区域总体可达性分布如图 5 所示。消防救援可达性呈显著空间分异性,HN-FR 中下部出现多个可达性较低的街区。该区域因其地理区位与各消防站均存在较大间距,同时,由于内部路网结构的局限性,导致常规响应时效超出规范要求阈值,致使最终街区单元可达性时间显著超过其他大部分街区。虽然该地靠近行政区域边界,可与其他行政区消防站协同作战,但是经过实地调研发现,其他消防站距离该地也较远。鉴于该地区同样处于主城区,火灾风险程度相对较高,建议在附近的交通通达程度较高的可建设区域进行规划增设消防站,以保证区域整体的消防救援的均衡性与公平性。

3.2 消防救援辖区分析

各消防站辖区面积如图 6 和表 3 所示,区域消防服务范围存在显著空间分布特征,可达性薄弱区域多呈集群分布。其覆盖能力衰减的主要原因在于超出有效服务范围,消防响应难以满足接警后 5 min 抵达事故现场要求。其中,FS-6 和 FS-8 存在部分街区未连接区域的发现,此类现象主要源于路网结构缺陷,即消防通道受断头路阻隔和路网密度不足致使交通疏解能力不足。这些结构性缺陷使部分街区因实际通行条件限制无法获得有效救援,揭示现行消防体系与城市基础设施协同仍有极大优化空间。

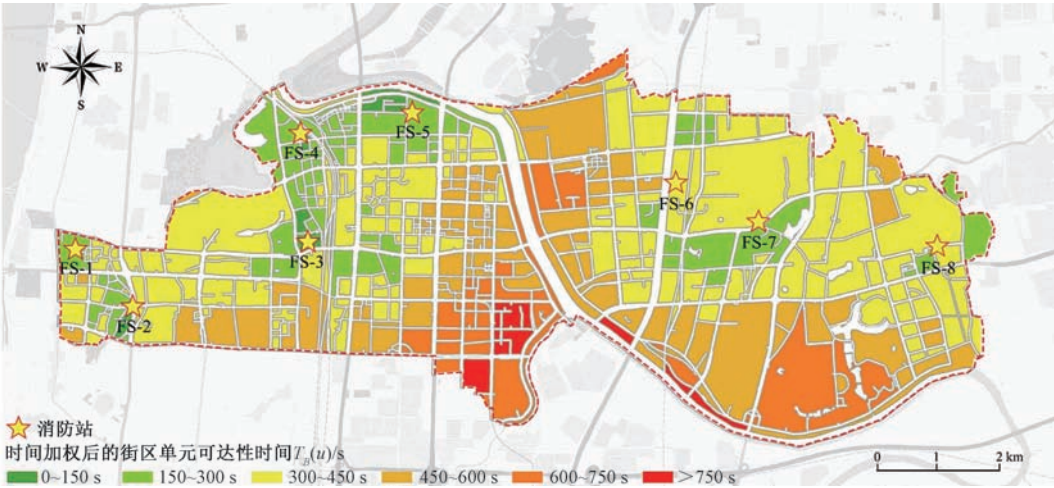


图 5 街区单元的研究区域总体可达性分布
Fig. 5 Overall accessibility distribution by block unit in the study region

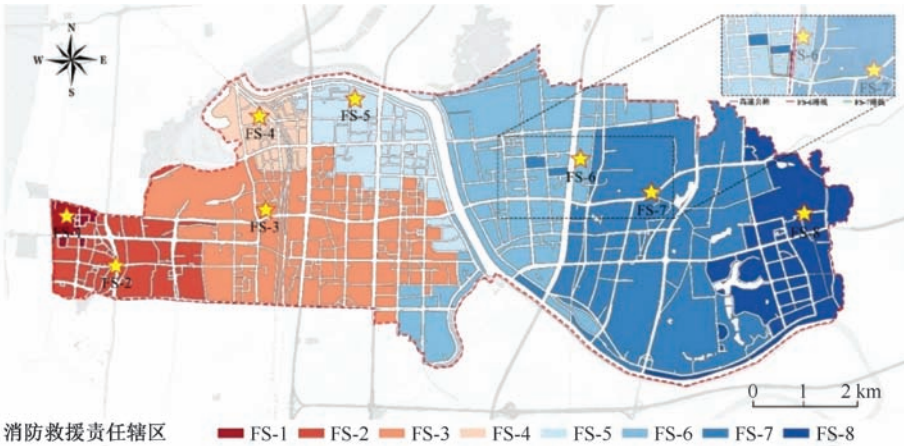


图 6 研究区域消防站消防救援辖区总体划分

Fig. 6 Overall firefighting response zone division in the study region

表 3 研究区域各消防站辖区面积

Table 3 Firefighting response zone area of fire stations in the study region

消防站 r	S_{FS-r}/km^2
FS-1	0.37
FS-2	2.94
FS-3	9.40
FS-4	1.52
FS-5	3.54
FS-6	8.98
FS-7	12.36
FS-8	5.11

图 6 中存在反常现象,该类街区由于 FS-6 实际到该区域需沿高速公路旁较窄道路通行速度受限,致使 FS-7 成为可达性更优的消防站。针对这种反常现象消防站可视情况考虑该街区具体管辖权。

FS-6、FS-7 通行条件优于其他消防站,能以较短时间到达大部分街区,使得辖区面积更大。这说明消防部门在选择消防站建设,可先考虑将消防站设在交通枢纽或车流量较少的位置,确保覆盖更多街区,提升整体服务效率。HN-FR 中 FS-1 和 FS-4 辖区面积相对较小,这与所处位置有关,反映当前消防站布局的不合理。一方面,2 消防站均位于 HN-FR 的边界,服务范围受限。另一方面,2 消防站周边交通流量较大,降低了救援效率和可达性。受地理位置限制,FS-1 和 FS-4 应对火灾时需加强与周边站点协同作战能力,实现资源和信息快速共享,提

升整体的消防救援效能。未来布局消防站时,应充分考虑地理位置、交通流量和区域协同作战等因素,确保合理分配和高效利用消防救援资源。

合理的资源分配对于消防救援服务效率至关重要。消防救援资源的配置应按照各消防站辖区面积具体配置。如 FS-6 和 FS-7 辖区面积较大的消防站应侧重强化设备和人员储备以服务大范围。如 FS-1 和 FS-4 辖区面积较小且交通复杂的消防站,受实时路况影响较大,需考虑提升可达性。通过调整人员分配,增加快速响应小队,在高需求时段调配更多流动资源。对于交通流量较大且存在交通瓶颈的区域,应根据火灾风险实时调整确保紧急情况下能够及时响应,以提升城市消防服务整体能力。

4 结 论

1) 基于实时路况计算街区单元行车时间,结合街区可达性划分消防救援辖区,能科学评估消防救援可达性,合理划分消防救援责任辖区。

2) 研究区域 HN-FR 的数据验证了方法的有效性,其不仅能精确划分辖区,更揭示了研究区域内消防救援资源覆盖严重不均衡的现状,具体表现为各消防站辖区面积差异较大(0.37~12.36 km²),并为优化资源配置提供了明确依据。

3) 未来进行消防站选址时应考虑辖区面积因素,尽量避免将消防站布局到行政区域边缘地区以免造成资源浪费。

参 考 文 献

[1] 王朝政, 郭大鹏, 胥兵周, 等. 城市电缆隧道火灾蔓延试验与数值模拟[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2025,

- 65(3):532-546.
- WANG Chaozheng, GUO Dapeng, XU Bingzhou, et al. Experimental and numerical simulation study on fire spreading of urban cable tunnels [J]. *Journal of Tsinghua University: Science and Technology*, 2025, 65(3):532-546.
- [2] 张无敌, 陈一洲, 李琪, 等. 城市大型公共建筑火灾风险因素影响程度及可能性分析[J]. *安全与环境学报*, 2021, 21(4):1 434-1 439.
- ZHANG Wudi, CHEN Yizhou, LI Qi, et al. Analysis of degree of influence and risk possibility of fire risk factors in large-scale public buildings in cities [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2021, 21(4):1 434-1 439.
- [3] 国家消防救援局:2024年全国火灾主要有五个特点[EB/OL]. [2025-01-24]. <https://news.cctv.com/2025/01/24/ARTIzxLWxFYy5ewOGCrrZPKV250124.shtml>.
- [4] 姚永锋, 贾洪琛, 张琰, 等. 城市区域消防资源优化布局研究[J]. *消防科学与技术*, 2023, 41(2):258-262.
- YAO Yongfeng, JIA Hongchen, ZHANG Yan, et al. Study on optimized layout of fire resources in city [J]. *Fire Science and Technology*, 2023, 41(2):258-262.
- [5] 晏明海, 王伟, 郭凯, 等. 基于多目标层次覆盖的消防救援站布防技术[J]. *消防科学与技术*, 2024, 43(8):1 174-1 180.
- YAN Minghai, WANG Wei, GUO Kai, et al. Fire station deployment technology based on multiobjective hierarchical coverage [J]. *Fire Science and Technology*, 2024, 43(8):1 174-1 180.
- [6] 霍非舟, 董格力, 李墨潇, 等. 考虑需求等级与距离损失联动消防站选址研究[J]. *中国安全科学学报*, 2022, 32(3):183-193.
- HUO Feizhou, DONG Geli, LI Moxiao, et al. Study on location selection of linkage fire stations based on demand level and distance loss[J]. *China Safety Science Journal*, 2022, 32(3):183-193.
- [7] 颜龙, 李琪, 郑佳欣, 等. 森林环境文物建筑集中区域灭火救援能力评估[J]. *中国安全科学学报*, 2024, 34(9):234-240.
- YAN Long, LI Qi, ZHENG Jiaxin, et al. Assessment of firefighting and rescue capacity in concentrated area of built heritage in forest environments [J]. *China Safety Science Journal*, 2024, 34(9):234-240.
- [8] 闫绪娴, 阮嘉琨, 苗敬毅, 等. 多源数据融合的城市区域型消防风险分布特征研究:以太原都市圈所在区域为例[J]. *灾害学*, 2022, 37(1):112-119.
- YAN Xuxian, RUAN Jiajun, MIAO Jingyi, et al. Research on distribution characteristics and planning trend of regional fire risk based on multi-source data fusion: take Taiyuan area as an example [J]. *Journal of Catastrophology*, 2022, 37(1):112-119.
- [9] 王雅荣, 赵海鹏, 周慰涛, 等. 整合多因素影响的城市消防站布局优化实践[J]. *消防科学与技术*, 2024, 43(4):551-556.
- WANG Yarong, ZHAO Haipeng, ZHOU Weitao, et al. Practice of optimizing the layout of urban fire stations by integrating multiple factors [J]. *Fire Science and Technology*, 2024, 43(4):551-556.
- [10] 于志金, 徐澜, 陈霜霜, 等. 基于模型交点法的城市消防站布局规划[J]. *中国安全科学学报*, 2022, 32(10):178-185.
- YU Zhijin, XU Lan, CHEN Shuangshuang, et al. Research on urban fire station layout planning based on model intersection method [J]. *China Safety Science Journal*, 2022, 32(10):178-185.
- [11] 黄遥, 熊柳源, 刘顶立, 等. 顾及动态交通路况的高速公路消防救援可达性评估[J]. *安全与环境学报*, 2024, 24(9):3 573-3 580.
- HUANG Yao, XIONG Liuyuan, LIU Dingli, et al. Assessing fire service accessibility on expressways under dynamic traffic conditions [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2024, 24(9):3 573-3 580.
- [12] MA Chengye, SONG Mingxing, ZENG Weitao, et al. Enhancing urban emergency response: a Euclidean distance-based framework for optimizing rescue facility layouts[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2025, 118: DOI:10.1016/j.scs.2024.106006.
- [13] ZHU Sicheng, LIU Weijun, LIU Dingli, et al. The impact of dynamic traffic conditions on the sustainability of urban fire service[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 96:DOI:10.1016/j.scs.2023.104667.
- [14] ZHAO Xilei, XU Yiming, LOVERGLIO R, et al. Estimating wildfire evacuation decision and departure timing using large-scale GPS data[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2022, 107: DOI:10.1016/j.

trd. 2022. 103277.

[15] 田逢时, 孙占辉, 郑昕, 等. 城市消防警情的空间异质性及影响因素[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2023, 63(6): 888-899.
TIAN Fengshi, SUN Zhanhui, ZHENG Xin, et al. Spatial heterogeneity and influencing factors of urban emergency services [J]. Journal of Tsinghua University:Science and Technology, 2023,63(6):888-899.

[16] 李凡, 薛晔, 李丽石, 等. 街区尺度下城市高密度建成区火灾风险研究:以石家庄市中心城区为例[J]. 自然灾害学报, 2022,31(1):92-107.
LI Fan, XUE Ye, LI Lishi, et al. Research on fire risk of urban high-density built-up areas at block scale: taking the downtown city of Shijiazhuang city as anexample [J]. Journal of Natural Disasters, 2022,31(1):92-107.

[17] 刘顶立, 雷晓, 袁狄平, 等. 消防救援飞地概念及识别方法[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2025, 65(6): 1 009-1 018.
LIU Dingli, LEI Xiao, YUAN Diping, et al. Concept and identification methods of fire rescue enclaves [J]. Journal of Tsinghua University:Science and Technology 2025,65(6): 1 009-1 018.

[18] 吴国豪, 陈跃红, 史春伟, 等. 等时圈模型支持下消防站空间可达性分析:以南京市为例[J]. 地理与地理信息科学, 2023,39(2):17-24.
WU Guohao, CHEN Yuehong, SHI Chunwei, et al. Assessing the spatial accessibility of fire stations by the Isochrone model: a case study in Nanjing, China[J]. Geography and Geo-Information Science, 2023,39(2):17-24.

[19] NYIMBILI P, ERDEN T. GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2020,71: DOI:10. 1016/j. seps. 2020. 100860.

[20] HUANG Yao, LIU Dingli, TANG Jiafu, et al. Dynamic estimation of the fire service spatial accessibility for EV charging stations: towards preventing severe fires and explosions[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2025,195: DOI:10. 1016/J. PSEP. 2024. 12. 115.

[21] BUFFINGTON T, EZEKOYE O A. Statistical analysis of fire department response times and effects on fire outcomes in the united states[J]. Fire Technology, 2019, 55: 2 369-2 393.



作者简介： 吴恙龙 （2000—）,男,湖南长沙人,硕士研究生,主要研究方向为应急管理、应急资源配置。E-mail: demokim@ stu. csust. edu. cn。