

时空维度下现代城市火灾消防安全评估体系构建及应用研究

□ 高 菲, 杜明阳, 梁明媛

【摘 要】城市消防规划是指导城市消防工作及消防设施布局的重要依据,其中火灾消防安全评估作为摸清火灾风险形势及消防安全需求的重要内容,是指导城市消防工作和消防设施布局的基础。面对现代城市火灾风险的新趋势和新特征,传统着眼于终极时期的静态火灾消防安全评估已无法提供长期、有效的决策依据。文章在借鉴先进城市火灾消防安全评估经验的基础上,以成都市火灾消防安全评估为例,提出时空维度下的城市火灾消防安全评估思路,从火灾风险评估和支撑保障评估两方面构建分类化、动态型的现代城市火灾消防安全评估体系,并将评估结果应用在消防规划中,以期为其他城市的火灾消防安全评估及消防规划提供参考。

【关键词】火灾消防安全评估;消防规划;火灾时空特征;消防设施布局;消防安全

【文章编号】1006-0022(2023)01-0128-06 **【中图分类号】**TU984 **【文献标识码】**B

【引文格式】高菲,杜明阳,梁明媛.时空维度下现代城市火灾消防安全评估体系构建及应用研究[J].规划师,2023(1):128-133.

Fire Risk Evaluation System and Its Application in Planning of Urban Fire Control from the Space-temporal Perspective/Gao Fei, Du Mingyang, Liang Mingyuan

【Abstract】 Planning of urban fire control is an important basis for fire safety and fire control facilities layout, and fire risk evaluation is a prerequisite in that it studies fire risk and fire safety needs. In the face of new trends and characters of fire risk, traditional fire risk evaluation cannot provide long term and effective decision making basis. Learning from experiences from other cities, Chengdu carried out fire risk evaluation, proposed evaluation concepts from a space-temporal perspective, established a categorized and dynamic fire risk evaluation system from the aspects of risk evaluation and safeguard evaluation. The evaluation results are used in the planning of urban fire control, providing a reference for other cities.

【Key words】 Fire risk evaluation, Planning of urban fire control, Space-temporal characters of fire risk, Fire control facilities layout, Fire safety

消防安全作为与人民生命安全、财产安全关系最为密切的内容之一,向来是城市安全工作的重要组成部分。2014年,习近平总书记提出坚持总体国家安全观,首次系统提出生态、国土等11种安全。消防安全涉及社会、生态、经济等多项国家安全内涵,是实现国家安全、支撑城市高质量发展的基础保障和重要支撑。城市消防规划作为国土空间规划体系中的专项规划,是长期、持续指导消防安全工作的重要专项,是为城市安全繁荣发展“保驾护航”的有力支撑。

火灾消防安全评估是城市消防规划的重要组成部分,是编制城市消防规划的基础。通过分析城市或区域的火灾发生情况及发展趋势,对火灾风险做出科学评估,

认清城市消防安全状况,可以为消防安全布局、消防设施规划布局等核心内容提供科学支撑和有效指导。随着现代城市建设日新月异,高层建筑群、大体量公共建筑等不断涌现,城市形态出现“一高、一低、一大、一化”^①的新特征,火灾风险愈发复杂多变。同时,当下城镇化已迈入下半场,越来越多的城市从“增量”转向“存量”发展,城市建成区内部的火灾风险更呈现出动态演变的特点,传统静态的火灾消防安全评估已经难以指导实际的消防安全工作。近年来,多源大数据和新技术的应用为城市消防规划提供了有力支撑^[1-2],利用大数据建立适用于现代城市的火灾消防安全评估体系,可以有效支撑城市消防规划。本文借鉴先进城市的火灾消防安全评

【作者简介】 高 菲,教授级高级工程师,成都市规划设计研究院副总工程师、规划五所所长。

杜明阳,工程师,注册城乡规划师,成都市规划设计研究院规划五所副主任规划师。

梁明媛,工程师,成都市规划设计研究院规划五所主创规划师。

估经验，以成都市消防规划中的火灾消防安全评估为例，基于真实火灾时空规律探析时空维度下的现代城市火灾消防安全评估体系，并将其应用在城市消防规划中，以期为其他城市提供思路借鉴。

1 案例研究

本文选取国内外部分安全城市作为案例，由于这些城市的城镇化程度、城市建设度均处于较高水平，其火灾消防安全评估方法对于现代城市而言更具针对性和可操作性。

1.1 基于空间维度的评估体系

基于空间维度的火灾消防安全评估是较为常见的一种评估方法，一般通过城市建设指标构建评估体系，对城市建成区实行分级评估。伦敦的火灾风险评估首先基于城镇体系和功能结构，对火灾风险进行分级；其次根据城市建设路网尺度小、建筑密度高、建筑高度低的整体特点，以单体建筑为评估对象，考虑火灾风险及延烧风险相关的建设指标，选取建筑间距、建筑结构、建筑面积等易获取的指标，构建“火灾风险评估工具箱”，评估结果用以改善建筑消防环境、指导消防辖区优化等^[3]。我国香港基于城市形态“高而密”的特征，其火灾风险评估针对建成区特征，在城市功能基础上选取容积率、建筑高度、居住密度和建筑密度四个指标，综合评估城市的开发强度，评估结果用以指导各风险区消防救援响应时间^[4]。东京的火灾消防安全评估包括火灾风险评估与支撑条件评估，其在火灾风险评估中结合城市木构建筑较多的特征，增加延烧性指标；在支撑条件评估中考虑灾害发生时的基础设施情况，对开敞空间和路网进行评估，从而更为全面地从空间上对火灾综合危险度进行评估^[5]。

1.2 体现时间维度的动态评估

伦敦建立了火灾消防安全评估风险

等级修正机制，对于因局部建设而引起火灾风险调整的区域，及时更正风险等级，以保证评估结果的准确。东京将火灾消防安全评估纳入城市更新计划，如公共设施改造计划、建筑不燃化改造以及道路和绿化空间的建设计划等^[5]，对火灾消防安全评估结果进行实时更新，在时间维度上可展现历史、现在及未来不同时期的火灾风险变化情况，对各个时期的消防安全工作提出具体的管理要求和消防防治措施。

2 时空维度下的火灾消防安全评估体系构建

《成都市国土空间总体规划(2020—2035年)》(公示版)提出建设国家中心城市、美丽宜居公园城市、国际门户枢纽城市、世界文化名城的战略定位，打造创新、协调、绿色、开放、共享、安全的公园城市示范区，在此背景下成都市启动了《成都市域城乡消防总体规划(2020—2035年)》的编制工作，以全面落实“以防为主，防消结合”的总体工作方针，助力成都市迈向繁荣、安全、可持续发展的世界城市。

借鉴先进城市的经验，成都市火灾消防安全评估总体以火灾风险评估为基础，辅以支撑保障评估进行系数修正，综合两者得到全面、系统的评估结果(图1)。其

中，火灾风险评估主要通过历史火情数据识别火灾高发区域的时空分布特征，在常规评估依托空间建设的基础上，创新加入时间维度的考量，构建基于“时间+空间”维度的火灾风险评估指标体系，并结合历史火情规律与未来管控要求形成评估标准；支撑保障评估主要考虑物质环境的支撑作用，选取道路条件和供水支撑作为评估要素，根据成都市实际形成评估标准。最终，可根据致灾原因得到不同类型的火灾风险分项评估结果，以及不同时期的火灾消防安全动态评估结果。

2.1 火灾风险评估

2.1.1 历史10年火灾数据判断

利用成都市2008~2018年的火灾出警统计数据，首次对历史10年火情进行数据集成与空间分析。首先，在空间上对历史5.5万条火情数据进行量化统计，以自然断点法对火灾频率进行分级；其次，为避免建设年代等要素对火情的影响，通过移动平均的方式，划定三级火灾发生频率；最后，进一步聚焦“12+2区域”，通过POI数据与卫星影像校验，识别出现状典型的火灾场景(图2)。总体来看，成都市火灾发生频率与城市建设存在紧密的正相关关系。

2.1.2 火灾风险时空特征识别

(1) 火灾风险空间特征识别。

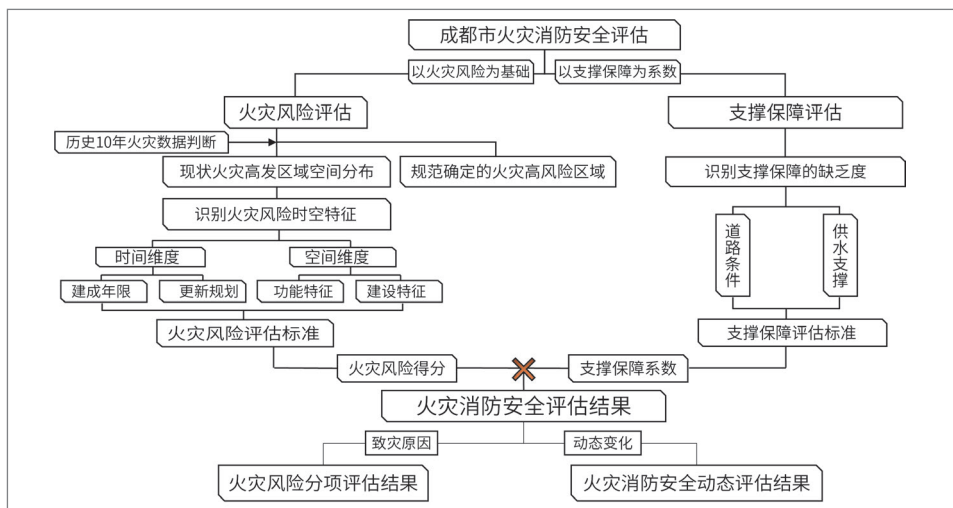


图1 成都市火灾消防安全评估技术路线图

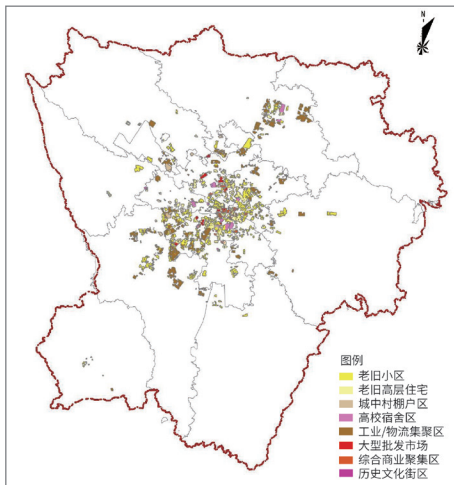


图2 成都市“12+2区域”现状火灾典型场景分布图

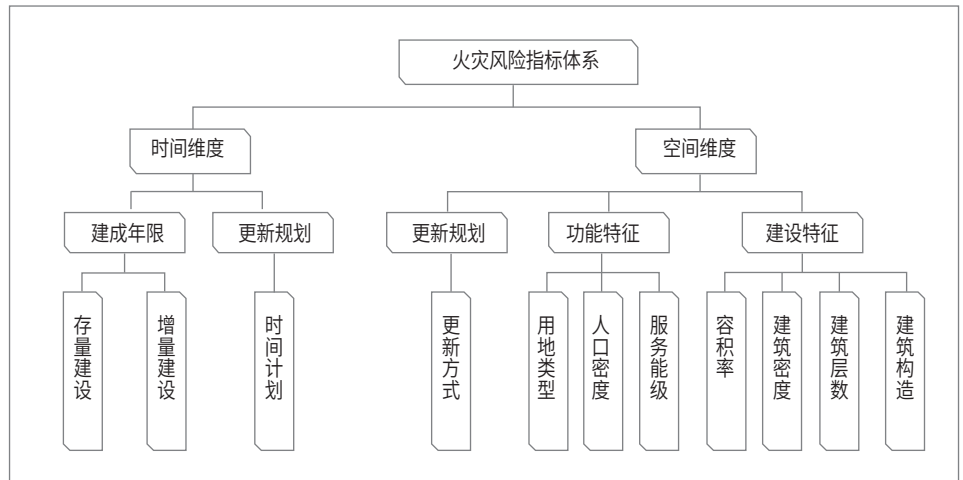


图3 成都市火灾风险评估指标体系示意图

注：更新规划中涉及更新时间计划纳入时间维度；更新方式涉及功能及建设特征的改变，纳入空间维度。

表1 火灾发生频率与时空影响因子的关系（置信度为95%）

火灾发生频率	空间特征						时间特征	
	功能特征		建设特征				建成年限 / 年	火灾典型场景
	用地类型	人口密度 / (万人 / 平方公里)	容积率	建筑密度 / %	建筑构造	建筑层数 / 层		
高	R	3.2 ~ 4.5	2.6 ~ 3.2	22 ~ 30	钢混	15 ~ 18	18 ~ 23	老旧高层住宅
		2.1 ~ 3.2	1.5 ~ 2.0	32 ~ 37	砖混	4 ~ 7	24 ~ 32	老旧小区
		0.8 ~ 1.6	0.8 ~ 1.4	35 ~ 38	砖木、板房	1 ~ 4	—	城中村棚户区
中		1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5	20 ~ 30	钢混	4 ~ 7	8 ~ 10	新建多层住宅
		2.5 ~ 3.5	2.5 ~ 3.0	≤ 20	钢混	11 ~ 18	4 ~ 6	新建高层住宅
低		0.8 ~ 1.2	1.0 ~ 1.5	30 ~ 35	钢混	≤ 2	—	低密住宅
高	B	4.8 ~ 13.0	3.2 ~ 4.5	—	—	—	—	市级、区级商业聚集区
中		2.4 ~ 4.2	2.2 ~ 3.0	—	—	—	—	社区级商业
低		< 2.0	—	—	—	—	—	其他
高	A31、A32	—	—	—	—	—	—	高校宿舍

首先，利用图谱分析初步确定相关影响因子。以火灾发生频率和火灾风险空间影响因子建立图谱关系，通过图谱比对分析发现，火灾发生频率高低与用地类型、人口密度、建筑构造、建筑密度、容积率和建筑层数存在一定的相关关系，将以上要素作为火灾发生的主要影响因子展开进一步分析。

其次，利用主成分分析确定影响因子贡献度。运用辗转法对火灾发生的主要影响因子进行主成分分析，找出影响火灾发生的主次要因素。为消除数据量级误差，避免数据间量级差异过大对分析结果造成误差，选用最大最小标准化方法对每种性质的数据分别进行标准化处理，同时对相关性进行预校验，根据

KMO 统计值 > 0.7^②、Bartlett 球形检验 P 值 < 0.005^③，综合两个指标判断变量之间是否存在相关性，若变量之间存在相关性，则进行因子主成分分析。在此基础上，根据碎石图^④选取特征值大于 1 的主成分，根据成分矩阵 > 0.7，确定对主成分因子贡献最大的分别是用地性质、容积率和建筑密度，在完成对主成分和公因子的提取后，根据成分矩阵计算，得出主成分贡献度大小排序为用地性质 > 建筑密度 > 容积率，因子贡献度为：

$$F1 = 0.008 \times X_{\text{人口密度}} + 0.523 \times X_{\text{建筑层数}} + 0.835 \times X_{\text{容积率}} + 0.876 \times X_{\text{用地性质}} + 0.825 \times X_{\text{建筑密度}} + 0.604 \times X_{\text{建筑构造}}$$

公式 (1)

(2) 火灾风险时间特征识别。

首先，从火灾单日发生时段和年度

发生季节入手，对火灾发生的时间特征进行分析。经统计，对于火灾单日发生时段，白天多于夜晚，主要是由于人群活动白天多于夜晚；对于火灾发生的季节，由于成都市属于亚热带湿润季风气候区，整体环境较为湿润，在季节上并无显著不同。可见，从火灾发生的时间难以有效确定其特征，故可以尝试将火灾发生的时间与城市建设的时间建立关系。

其次，通过对火灾发生区域建成年限情况进行统计，发现建成时间 > 30 年和建成时间 < 20 年的区域火灾发生总量较大，但为避免建设总量带来的影响，继而分析计算不同建成年限建筑的单位面积火灾发生次数，可以明显发现建成时间 ≥ 20 年的区域，火灾发生频率明显

较高,可见火灾发生频率与建成年限高度相关。综合火情分析情况发现,在建成时间 ≥ 20 年的建筑中,有一部分为砖混、砖木结构,建筑本身的耐火等级较低。此外,成都市在2000年左右建成大量高层建筑,受电路使用周期影响,这些建筑在20年后由电气引发的火灾明显增多,因此可以认为建成年限达到20年是影响火灾风险变化的重要阈值。

(3) 火灾高风险场景多因子组合识别。

由于火灾致灾原因复杂,独立因子线性关系不显著,需对有效时空影响因子进行交叉组合,并以影像数据为校核,识别火灾高风险区域类型,整体上可以用地性质(表征功能)为主要判断因子解析火灾发生区域的特征。

以老旧小区为例,其火灾发生频率高达45.1次/平方公里。经统计,在成都市火灾高风险区域的老旧小区中,有60%的小区建成年限超过30年,建筑密度为30%~40%,容积率为1.5~2.0,建筑层数多为4~7层、人口密度为2万~4万人/平方公里。可见,通过多个指标的组合可识别火灾高风险区域的类型并辨识其致灾原因,为下一步提出精细化的消防安全管理措施提供支撑。此外,时空影响因子分布情况也将作为火灾风险评估的重要依据。最终,通过多因子交叉组合与影像校核,得到火灾发生频率与时空影响因子的关系(表1),以此识别成都市火灾高风险场景的空间分布。

2.1.3 火灾风险评估指标体系构建及指标权重确定

综合案例常用指标与影响成都市本地火灾发生的有效指标,构建“时间+空间”的全维度火灾风险评估指标体系(图3)。其中,时间维度以建成年限为主,同时考虑未来城市存量建设变化,纳入更新规划指标以实现对未来火灾风险的动态评估;空间维度以功能特征和建设特征综合反映火灾风险的空间分布。

本文综合成都市历史火灾规律、未来建设管控和相关规划计划要求确定指

标刻度,同时以历史火灾发生区域时空影响因子的实际贡献度为基础,利用专家打分法对权重进行优化,综合得到因子权重(表2)。

2.2 支撑保障评估

在支撑保障评估方面,借鉴东京的相关经验,通过道路条件和供水支撑识别支撑保障的缺乏度。对道路条件的评估

以路网密度为评估指标,结合成都市“小街区”規制标准,以公服单元为评估对象,确定不同路网密度的修正系数。路网密度为 ≥ 10 km/km²、8~10 km/km²、6~8 km/km²、 < 6 km/km²,对应的修正系数分别为1.0、1.1、1.3、1.7。对供水支撑的评估以市政消火栓覆盖率为评估指标,以保护半径为150 m、每35 000 m²设置不少于1处室外消火栓为评估标准,

表2 火灾风险评估指标权重一览

目标层	准则层	指标层	权重	评判标准	权重		
火灾风险评估	时间维度 0.271	建成年限(年)	0.191	建成20年以上	0.131		
				建成10~20年	0.060		
				建成10年以下	—		
		更新规划	更新时间	0.028	近期	—	
			远期		0.008		
			无计划		0.020		
		空间维度 0.729	更新规划	更新方式	0.052	拆旧建新	0.027
					优化改造	0.015	
					保护传承	0.010	
		用地类型 0.120	居住用地	容积率	0.080	≥ 2.5	0.060
					2.5~2.0	0.020	
					< 2.0	—	
				人口密度(万人/平方公里)	0.120	> 3.0	0.090
					0.120	1.5~3.0	0.030
					0.120	< 1.5	—
				建筑密度	0.105	$\geq 35\%$	0.105
					0.105	$< 35\%$	—
				建筑构造	0.095	砖木	0.050
					0.095	砖混	0.020
			0.095	钢混	0.005		
		建筑层数(层)	0.209	< 4	0.010		
	4~7			0.020			
	7~11			0.035			
	11~18			0.050			
			0.065	> 18	0.065		
	商业服务业设施用地 0.100	容积率	0.180	≥ 3.0	0.060		
				2.0~3.0	0.020		
				< 2.0	—		
		人流密度(万人/平方公里)	0.320	> 6.0	0.080		
			0.320	2.0~4.0	0.040		
			0.320	< 2.0	—		
		服务能级	0.209	市级、区级	0.035		
				社区级	0.003		
				其他	—		
	其他	《城市消防规划规范》(GB 51080—2015)明确的易燃易爆危险品场所、历史城区及历史文化街区、地下空间、大型批发市场等由相关规划明确空间分布			纳入高风险区		

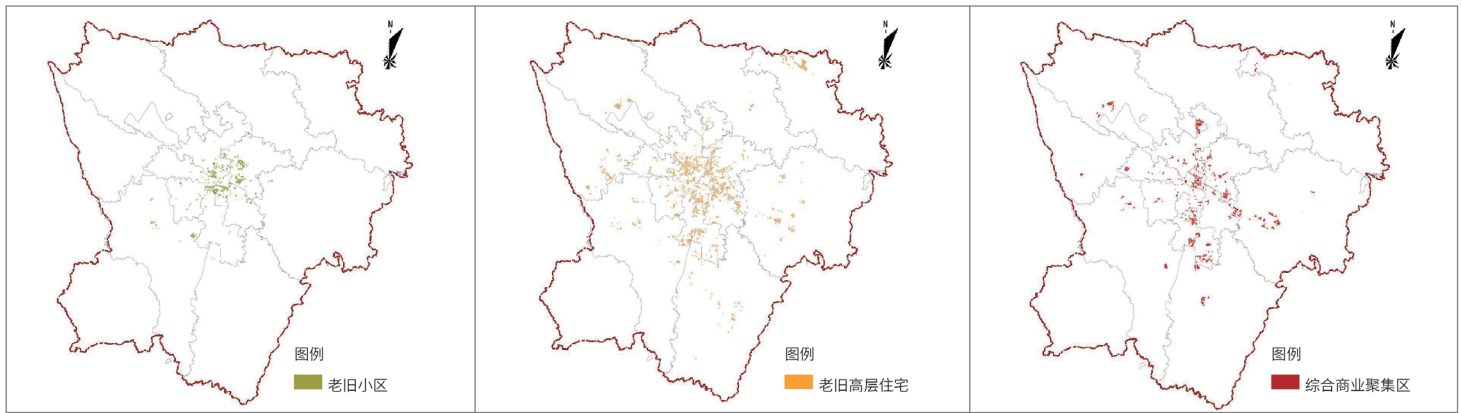


图4 成都市“12+2区域”火灾高风险区域分项分布图(2035年)

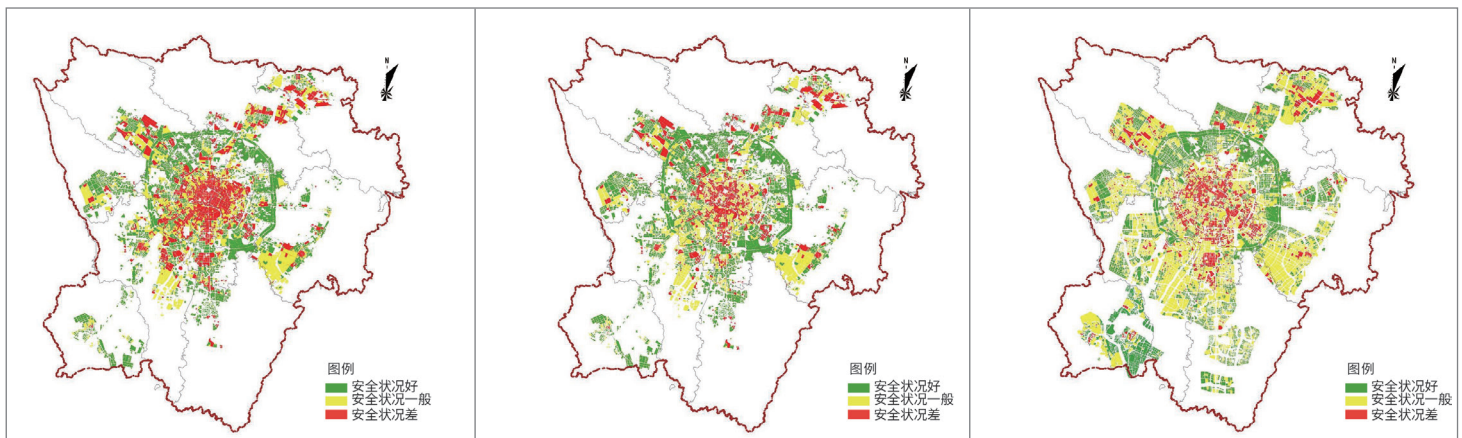


图5 成都市“12+2区域”现状(左)、近期(中)、远期(右)火灾消防安全状况分布图

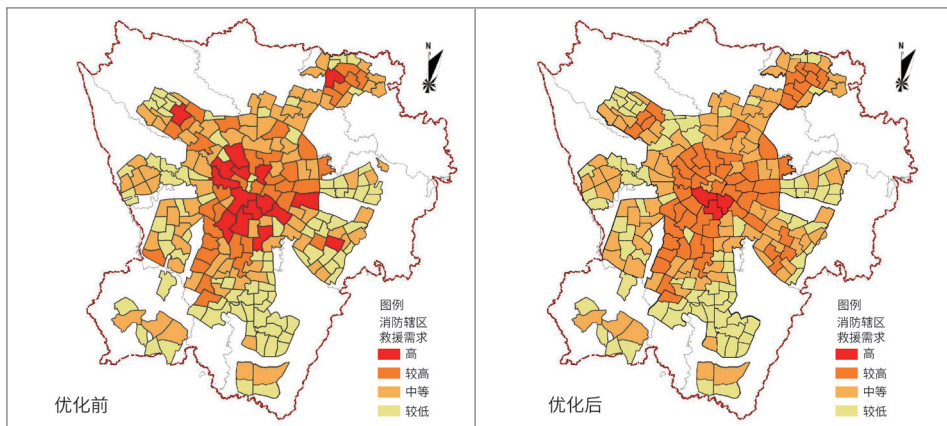


图6 成都市“12+2区域”优化前、优化后各辖区消防救援压力分布图

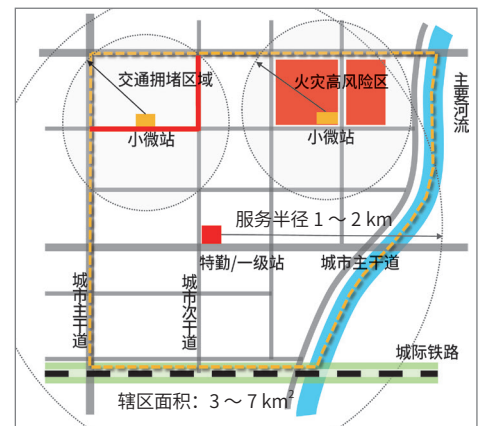


图7 成都市“1+X”消防站布局模式示意图

同样以公服单元为评估对象，根据现状覆盖率对火灾风险进行系数修正，未来按覆盖率100%计算。供水设施覆盖率为100%、80%~100%、<80%，对应的修正系数分别为1.0、1.1、1.2。

2.3 火灾消防安全评估结果输出

2.3.1 火灾风险分项评估结果

通过多因子组合，根据致灾原因识别不同类型的火灾高风险区域。其中，老

旧小区因建成年限、人口密度、建筑密度等综合因素导致火灾风险高；老旧高层住宅因建成年限引起电气设施、设备老化导致火灾风险高；市级、区级商业聚集区因人流密度高导致火灾风险高(图4)。

2.3.2 火灾消防安全动态评估结果

以现状、近期、远期为评估期限，追踪城市动态火灾消防安全的空间分布情况。现状，消防安全状况差的区域集中在成都市二环路以内，老旧小区、历

史文化街区和大型批发市场的火灾消防安全状况较差；近期，随着城市更新规划的推进，更新区域所涉及的老旧小区、历史文化街区、工业物流聚集区等，这些区域的火灾消防安全状况有所提升；远期，老城区内的老旧小区、大型批发市场等实现完整更新，老城区的火灾消防安全状况得到提升(图5)。此外，高层住宅建成年限达到调整阈值，安全性显著下降。

3 火灾消防安全评估结果在成都市消防规划中的应用

3.1 精准指导消防安全布局，贯彻“以防为主”

3.1.1 精细化指导各风险区的消防安全治理

除《城市消防规划规范》(GB 51080—2015)提出的消防安全布局要求外，还可依据火灾高风险区域的风险评估结果，根据致灾原因对各类风险区域提出相应的消防安全举措，从改善消防环境、完善消防基础设施、加强消防管理、增加消防供给等方面进行指引。对于老旧高层住宅，其火灾风险大主要是因电线、设备等老化而引发电气火灾，应加强其消防安全管理与巡检，落实消防安全管理责任；对于达到年限的高层建筑，应定期改造或更换基础设施，增设智能预警系统，实现建筑消防设施互联网检测接入，保障消防人员及时救援。对于老旧小区，由于其火灾致灾原因较为综合，可采取有序推动更新改造和拆迁工作、改善消防安全环境、强化基础消防设施保障、强化社区消防安全治理等多种安全措施。

3.1.2 识别近远期消防工作重点

从风险防治的角度看，火灾风险评估结果反映了一段时间内需加强消防安全的重点区域。结合近5年的消防安全分布图，近期成都市消防安全重点区域为二环路以内的老旧小区及未改造的棚户区、大型批发市场等，随着城市更新的不断深入，至2035年其消防安全重点区域逐渐南移至高新区、天府新区的高层住宅，应重点加强高层住宅的防火消防保障，定期对高层住宅进行电气等设施维护及改造，并相应加强高层住宅的消防救援力量投入。

3.1.3 建立消防安全动态监测平台

根据火灾风险分项评估结果建立消防安全动态监测平台，在平台中实时更新城市建设的动态变化过程、消防安全支撑设施情况及城市运营中的交通背景数据，构建消防设施“物联网”，实时

监控消防火情。当火灾发生时，通过智能化数据平台并调配消防救援资源和交通空间资源，辅助消防调度部门以最快速度和最优警力实施救援，同时展示灾情发生周边的消防站、基础设施、交通路况、消火栓位置等信息，辅助救援。此外，依据火灾风险分项评估结果对重点消防单位名录进行动态更新，如超过20年的高层住宅均属于火灾高风险区域，应加强消防管理工作。

3.2 按需优化消防设施布局，落实“防消结合”

3.2.1 优化消防站点位布局，平衡消防救援压力

根据火灾消防安全动态评估结果，对成都市“12+2”区域标准化辖区划定方案进行消防救援压力评估^⑤。结果显示，现状城市中心区域和北部局部区域的消防救援压力过大，应以消防压力均等为原则，对消防救援压力较大的辖区进行适当调整(图6)，按照调整后的辖区方案，以“全面覆盖，消除盲区”为原则增设一级站点位，整体提升消防救援效率。

3.2.2 高风险区强化消防力量的末端渗透，按需增强救援力量供给

针对火灾高风险区域，应通过“1+X”消防站布局模式强化救援力量的末端渗透(图7)，即辖区内以1个特勤/一级站为依托，重点围绕火灾高风险区辅以X个小微站，实现重点保护、精准渗透，以此形成蜂窝式的消防救援网络体系，缩短消防力量到达时间，实现消防救援“打早打小”，解决实际救援需求大、交通拥堵难到达等问题。同时，根据辖区所在高风险类型，如高层住宅、棚户区、高校宿舍等，按需配置登高车、消防摩托等专业救援设备，实现救援装备在空间的精准高效投放。

4 结语

本文在空间维度火灾消防安全评估的基础上，以规划应用和实际工作需求

为导向，纳入时间维度的指标，创新提出时空维度下分类化、动态型的火灾消防安全评估体系。随着城镇化迈入下半场，城市内涵式存量发展已是大势所趋，时空维度下的现代城市火灾消防安全评估体系可以为城市消防安全工作提供时间持续、空间精确的有效指导，为“以防为主、防消结合”的消防规划策略的落实提供精细、动态的科学支撑，从而切实提升超大城市的现代消防治理水平。□

[注释]

- ①在消防工作中，一般“高”指超高层建筑，“低”指地下空间和地铁等，“大”指大跨度空间，“化”指石油化工有限公司。
- ②KMO检验用于检查变量间的相关性和偏相关性，KMO统计值越接近于1，意味着变量间的相关性越强，偏相关性越弱，因子分析效果越好。在实际分析中，KMO统计量在0.7以上时效果比较好。
- ③在Bartlett球形检验判断中，如果相关阵是单位阵，则各变量独立因子分析法无效。若P值<0.005，说明符合标准，数据呈球形分布，原有变量之间存在相关性，适合进行主成分分析。
- ④碎石图是将特征根以图示形式展示，主要用于判断因子个数，当折线由陡峭突然变得平稳时，对应的因子个数即为参考提取因子数，选择3个或4个因子比较合适。
- ⑤火灾消防安全状况差则消防救援压力大，反之则消防救援压力小。

[参考文献]

- [1]王爱，张强，陆林，等.多源数据支持下城市火灾风险评估及规划响应[J].中国安全科学学报，2021(3):148-155.
- [2]鲁钰雯，翟国方，周姝天，等.基于多源数据的城市火灾风险评估及应用——以厦门市为例[J].灾害学，2019(1):215-221.
- [3]揭秘历史悠久的英国消防制度[J].中国消防，2015(13):50-51.
- [4]韩新.城市防灾规划丛书(第五分册):城市消防规划[M].北京:中国建筑工业出版社，2016.
- [5]东京都都市整备局.地域危险度报告[R].2018.

[收稿日期]2022-07-04