

闫绪娴, 阮嘉珺, 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. doi: 10. 3969/j. issn. 1000–811X. 2022. 01. 020.]

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

闫绪娴¹, 阮嘉珺¹, 苗敬毅^{1,2}, 范玲¹

(1. 山西财经大学 管理科学与工程学院, 山西 太原 030006; 2. 广东白云学院 经济统计系, 广东 广州 510550)

摘要: 分析区域消防风险的空间演化特征, 针对性建立并调整消防站点, 可预见性地降低消防风险。以太原都市圈所在区域作为研究对象, 将遥感数据、POI兴趣点数据经标准化处理后融入GIS-GANP模型中, 识别城市区域间特异性消防风险因子, 探讨区域消防风险系数及空间分布特征, 并多角度分析消防站点规划趋势。结果表明: POI数据符合区域融合发展消防风险评估的特异性; 太原都市圈所在区域综合消防风险系数偏高, 空间上呈45°带状风险分布形态, 存在消防韧性、承灾体分布及致灾因子三者关系不匹配的问题, 进行风险等级划分, 高风险的地区为: 太原市的市辖区、清徐县、阳泉市的盂县、吕梁市的孝义市及晋中的介休市; 以太原市为中心城市的都市圈形态非圈层结构; 应急管理一体化能够降低公共设施建设成本。

关键词: 城市区域发展; GIS-GANP; 消防风险研究; 多源数据; 消防韧性; 太原都市圈

中图分类号: F280; X4; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2022)01–0112–08

doi: 10. 3969/j. issn. 1000–811X. 2022. 01. 020

在城市现代化进程中, 消防安全事件防控难度大, 极易受人为因素影响, 承灾体间联动性强, 是城市应急管理亟待解决的重要灾害问题。2020年全国接报火灾总数25.2万起, 居民住宅火灾数量占总数的43.3%, 其中, 高层住宅火灾比上年大幅上升13.6%。由此可见, 城区消防应急管理的重要性。而随着都市圈概念的提出, 标志着城市区域沿新方向发展, 消防应急管理工作也应同向优化调整。在既有研究中, 城市、综合体^[1]、高层建筑^[2–3]、地下管廊^[4]作为研究主体已有较多成果, 城市一体化区域形态作为更加宏观的对象, 仍需深度探索与钻研。

当前消防安全问题研究数据有多源化趋势^[5], 但遥感数据^[6]、POI兴趣点^[7]与统计数据衡量尺度不同, 仍有探讨空间。城市建设趋向多元, 消防风险因素冗杂, 据分层分类原则^[8]起火成因^[9–11]、火灾特点^[12–15]等是主因, 就区域消防风险研究而言, 进行分级管理有助于规划工作。此外, 综合运用模型增强了分析过程的合理性, 如熵权法^[16–17]、AHP^[18]、事故树^[19]、神经网络^[20]、MI-

RO^[21]等。而GIS空间分析法^[22]能在数量、分类方面突显优势, 有利于分析区域风险分布特点。因此, 消防风险研究应拓展以都市圈形态为代表的城市区域作为主体, 探索多源数据标准化问题, 在空间视角分析风险现状及趋势, 以期促进消防应急管理规划工作同城镇发展趋势相同步, 避免规划工作的滞后性。

太原都市圈是中部地区崛起战略的关键区域, 核心城市太原是我国城镇化均衡发展的重要节点。近年来, 区域内各城市在经济、人口、高新技术等方面发展迅速, 但受制于地理位置、资源禀赋等, 城市间联结程度不高, 融合状态尚不成熟, 城市规划尚不完善, 消防风险因素较多, 致使该区域在消防风险防控管理方面有较高的研究价值。因此, 为进一步提升消防风险应急管理能力, 优化评估模型及方法, 为区域高质量发展奠定安全环境基础。本文以太原都市圈所在区域作为研究对象, 将遥感数据、POI兴趣点数据经标准化处理后融入GIS-GANP模型中, 提取特异性影响因素, 探讨城市一体化区域消防风险系数及空间分布特

* 收稿日期: 2021–04–23 修回日期: 2021–06–11

基金项目: 国家社会科学基金(20BGL260)

第一作者简介: 闫绪娴(1978–), 女, 汉族, 山西朔州人, 博士, 教授, 主要从事应急管理与大数据技术评价研究。

E-mail: yanxux@163.com

通讯作者: 阮嘉珺(1997–), 女, 汉族, 黑龙江齐齐哈尔人, 硕士研究生, 主要从事应急管理与大数据技术评价研究。

E-mail: 940584769@qq.com

征, 通过区位 - 配置模型^[23-24], 预测防控消防风险的站点规划趋势及方向, 研究构建一体化应急应战体系^[25]的可行性, 以期在消防风险研究领域扩充城市区域视角, 为向都市圈方向发展的城市区域内应急管理工作的发展规划思路提供借鉴及参考, 推动消防应急管理与城市区域融合发展方向相匹配, 减少因消防站点迁移、重置造成资源浪费。

1 区域型消防风险评估模型

1.1 构建评估指标体系

基于已有文献研究及城市区域融合发展视角, 综合人口、经济、政府公共设施投入等因素, 可将区域消防风险因素归纳为灾害危险性、承灾体脆弱性及消防韧性3大类(表1)。①模拟灾害诱因, 考虑消防事件不可逆性, 综合人 - 物 - 社会三维度选出代表灾害危险性的指标。商场、酒店、娱乐场所等人员密集型场所, 在发生消防安全事件时, 对人身生命的威胁极高, 能代表对人这一层面的潜在危险性; 以加油站、化工厂等为代表的易燃爆场所, 消防安全事件诱发性极高, 能代表对物这一层面的潜在危险性; 医院、古迹等场所对文化、社会等方面具有较强的软作用, 以其作为公共设施这一层面的代表, 能分析社会层面受到消防安全事件的潜在危险性。②就消防安全事件影响的客体, 集中在人员、经济及建筑物方面, 分布越集中, 脆弱性越大, 风险越高。因而选择人口密度、地均GDP、高层建筑代表当前城市的主要承灾体, 单位区域内指标越高, 风险越大。③从抵抗消防风险及恢复的能力分析, 消防站点密度、水网密度决定着灾害控制能力, 路网密度影响着控制时效, 公共设施投入增长率推动着灾后恢复能力的速度, 几者构成了消防韧性的衡量因素, 韧性越高, 风险越小。

1.2 确定研究方法

ANP网络分析法在优化AHP的基础上能够考虑决策系统中因素间相互依存和反馈的关系, 但主观性较强。灰色关联法在定量分析的基础上结

合描述及比较分析, 能够对已收集的少量信息进行利用, 能够客观反映系统内部的关系。因此, 选用基于GIS空间分析法的灰色网络分析法(G-ANP), 综合考虑主客观因素对城市间区域消防风险进行分析, 流程如下。

(1)确定指标及评价等级。根据识别出的消防风险因素建立指标集 $\mathbf{U}_i = (\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2, \mathbf{U}_3)$, 各指标的子集为 $\mathbf{U}_i = (\mathbf{U}_{i1}, \mathbf{U}_{i2}, \mathbf{U}_{i3} \dots \mathbf{U}_{ij})$ ($i=1, 2 \dots N; j=1, 2 \dots n$), 评价等级为 $\mathbf{T}_i = (\mathbf{T}_1, \mathbf{T}_2, \mathbf{T}_3, \mathbf{T}_4, \mathbf{T}_5)$ 。

(2)利用GIS空间分析法, 对区域指标数据集散程度进行分析, 并通过数值分类在空间上呈现差异分布, 进而对各项指标空间分布情况进行分析, 初步分析消防风险在单因素下分布情况。

(3)ANP计算评估指标权重。考虑指标间关联关系构造判断矩阵, 进行归一化处理, 构造无加权超矩阵 \mathbf{W} 。分别以每一参考因素作为标准对其他元素进行重要性比较, 归一后得到加权矩阵 \mathbf{A} 。将加权矩阵 \mathbf{A} 与未加权矩阵 \mathbf{W} 相乘, 得到加权超矩阵 $\mathbf{W} = \mathbf{W} \times \mathbf{A}$, 进而进行稳定性处理, 使极限超矩阵 $\mathbf{W}^* = \lim_{k \rightarrow \infty} (1/n) \sum_{k=1}^n \mathbf{W}^k$ 极值收敛且唯一, 则 \mathbf{W}^* 的列向量为极限相对排序向量, 即为区域消防风险评估指标各自的权重, 为进一步进行评估提供依据。

(4)灰色关联法建立灰色评价矩阵。用评价等级 \mathbf{T} 通过专家打分法对各指标独立打分得评价矩阵 \mathbf{D} , 用灰色统计法求得 X 类白化权函数, 判断不同指标的灰色统计数及总灰色统计数, 进而计算灰色评价权, 即各指标隶属某一灰类的总体认同度。最后计算求得灰色评价矩阵 \mathbf{P} :

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{11}^{(1)} & \cdots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{P}_{ij}^{(1)} & \cdots & \mathbf{P}_{ij}^{(e)} \end{bmatrix}, (i=1, 2 \dots N; j=1, 2 \dots n; e=1, 2 \dots X). \quad (1)$$

式中: i 为一级指标, j 为二级指标, e 为专家编号。

(5)综合评价。基于ANP计算出的极限相对排序向量 \mathbf{W}^* 及灰色关联法求出的灰色评价矩阵 \mathbf{P} , 可算出二级指标评估权重: $\mathbf{Y} = \mathbf{W}^* \times \mathbf{P}$, 结合评价

表1 区域型消防风险指标体系表

目标层	准则层	指标层	指标解释	指标性质
区域消防风险评估	灾害危险性 \mathbf{U}_1	公众聚集场所密度 \mathbf{U}_{11}	商场、集贸市场、宾馆、酒店、饭店、娱乐场所等POI密度。	正向
		易燃易爆场所密度 \mathbf{U}_{12}	加油站、加气站、化工厂等易燃易爆场所POI密度。	正向
		保护单位密度 \mathbf{U}_{13}	学校、医院、政府单位、文物馆、古城遗址等POI密度。	正向
	承灾体脆弱性 \mathbf{U}_2	人口密度 \mathbf{U}_{21}	各地区人口数量的分布情况。	正向
		地均GDP \mathbf{U}_{22}	各地区生产总值GDP的分布情况。	正向
		地均高层密度 \mathbf{U}_{23}	高层建筑在各区的数量分布情况。	正向
	消防韧性 \mathbf{U}_3	地均消防站密度 \mathbf{U}_{31}	消防站在各区的数量分布情况, 代表区域消防建设情况	负向
		水网密度 \mathbf{U}_{32}	城市主要河流长度与所在区域面积的比值	负向
		公共设施投入增长率 \mathbf{U}_{33}	各区基础设施、公共疏散场所建设资金占财政支出的增长比率	负向
		路网密度 \mathbf{U}_{34}	反映各县区道路通达程度, 完备程度	负向

等级向量 T , 得到一级权重值: $Q = Y \times T$ 。对于城市区域型消防风险的整体评估通过综合评价向量 $S = W \times P$, 最后与评价等级 T 结合得到综合评估分值为: $G = S \times T$ 。计算出综合得分对城市区域型进行总体风险评价, 用组合加权法对各区域风险进行计算, 结合 GIS 判断不同区域风险分布情况, 进而对不同区域风险进行评价, 探寻风险重点的区域关键风险因素。基于重点风险区域及城市发展方向引入区位 - 配置模型(L-A 模型)可以对后续消防规划趋势进行研究, 以预见性的视角分析规划方向(图 1)。

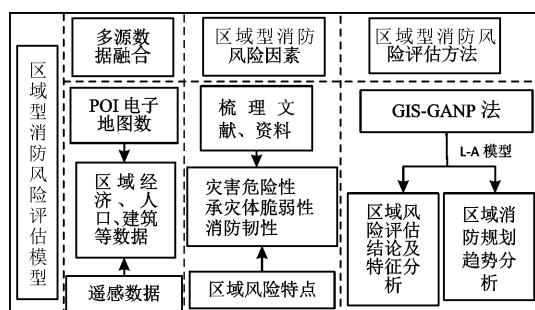


图 1 区域消防风险评估模型图

2 案例分析及应用

2.1 数据来源及处理

2.1.1 研究区域概况

太原市地处中国华北地区, 是山西省政治、经济、文化中心, 常住人口为 375.27 万人, 地区生产总值(GDP)为 4 028.51 亿元, 协同晋中市、阳泉市、吕梁市以及忻州市几个行政区划临近的城市共同发展。然而, 受限于地理位置, 基础设施水平等因素, 太原市核心辐射作用相对薄弱, 城市间联通程度较低, 基于《中国都市圈发展报告》^[26]可知, 太原所处区域属于典型的培育发展中的区域(图 2)。随着城市化战略的推进, 经营场所、人口数量的增加衍生出频发的消防事故, 因此, 对消防风险分布情况进行研究刻不容缓。

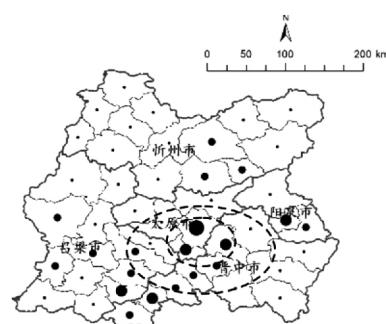


图 2 太原都市圈所属区位图
(文中底图源自山西省自然资源厅, 审图号: 晋 S(2020)005 号, 下同。)

2.1.2 数据来源及模糊处理

经济及人口数据源于 2020 年统计年鉴, POI 数据取自电子地图, 区域内建筑数据采自遥感数据, 道路网络及水网数据源于 OPENSTREET。为提高评估准确性, 避免由于收集数据来源、统计方式、标准尺度等原因导致比较分析出现偏差, 因而将上述数据进行标准化及模糊化处理, 使数据具有一定容错率, 在趋势上与真实情况保持一致。将太原都市圈所在区域的消防风险指标的数值由高到低划分成五级, 用重分类数据进行 GIS 分析及综合评估计算, 使分析结果具有更高的可信度(表 2)。

2.2 太原都市圈所属区域消防风险评估及结论

2.2.1 GIS 分析及结论

对各项指标在空间上的分布情况可视化处理进行初步风险分析, 判断太原都市圈消防风险分布情况及集中趋势, 利用 ArcGIS 软件将各地区消防风险划分为不同等级, 得到各区域不同指标下消防风险空间特征的分布图(图 3 至图 12)。

基于不同风险指标引起的消防风险在空间分布情况可初步分析: 2020 年度太原都市圈所处区域的消防风险在单个指标作用下呈现出不同的风险形态, 不同于都市圈具有环状层级分布的特点, 太原都市圈消防风险分布呈 45° 的条带状, 以太原市市辖区为中心, 向条带两侧分布。灾害危险性与承灾体脆弱性同消防风险成正比, 风险主要集中于市辖区, 而消防韧性与上述两方面指标不同,

表 2 指标模糊处理表

指标风险值	10	30	50	70	90
公众聚集场所密度(个/km ²)	[0.30 ~ 2.04)	[2.04 ~ 4.80)	[4.80 ~ 7.85)	[7.85 ~ 14.16)	[14.16 ~ 71.56)
易燃易爆场所密度(个/km ²)	[0.24 ~ 0.90)	[0.90 ~ 1.8)	[1.80 ~ 4.73)	[4.73 ~ 9.04)	[9.04 ~ 20.62)
保护单位密度(个/km ²)	[0.53 ~ 3.55)	[3.55 ~ 9.00)	[9.00 ~ 20.66)	[20.66 ~ 41.39)	[41.39 ~ 72.53)
人口密度(人/km ²)	[41.95 ~ 165.57)	[165.57 ~ 316.95)	[316.95 ~ 575.49)	[575.49 ~ 1 099.61)	[1 099.61 ~ 2 446.07)
地均 GDP(万元/km ²)	[62.93 ~ 526.27)	[526.27 ~ 1 585.05)	[1 585.05 ~ 4 003.86)	[4 003.86 ~ 6 732.22)	[6 732.22 ~ 21 764.59)
高层密度(栋/km ²)	[0 ~ 0.12)	[0.12 ~ 0.51)	[0.51 ~ 1.13)	[1.13 ~ 2.28)	[2.28 ~ 12.44)
消防站点密度(个/km ²)	[0 ~ 0.22)	[0.22 ~ 0.66)	[0.66 ~ 1.69)	[1.69 ~ 3.25)	[3.25 ~ 11.02)
水网密度(km/km ²)	[0 ~ 2.02)	[2.02 ~ 6.69)	[6.69 ~ 11.95)	[11.95 ~ 19.79)	[19.79 ~ 36.63)
公共设施增长率(%)	[-50.4 ~ -39.80)	[-39.80 ~ -4.40)	[-4.40 ~ 13.7)	[13.7 ~ 35.7)	[35.7 ~ 93.9)
路网密度(km/km ²)	[0 ~ 3.4)	[3.4 ~ 11.0)	[11.0 ~ 22.7)	[22.7 ~ 57.6)	[57.6 ~ 78.8)

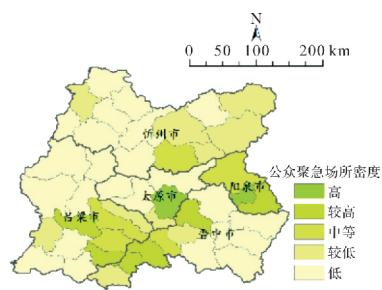


图3 公众聚集场所密度图

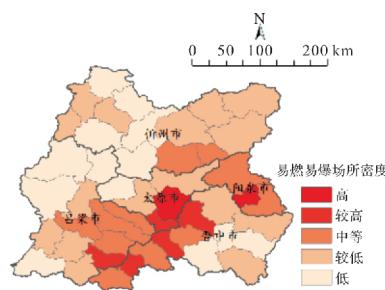


图4 易燃易爆场所密度图

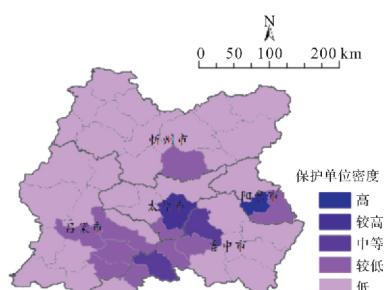


图5 保护单位密度图

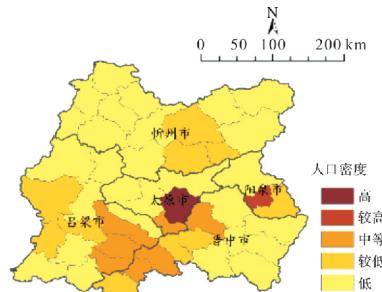


图6 人口密度图

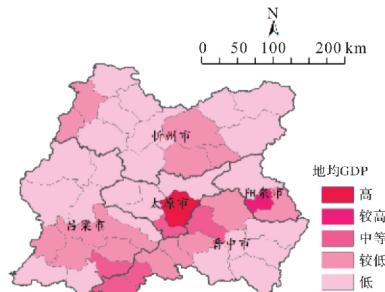


图7 地均GDP图

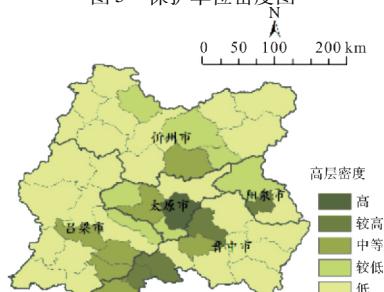


图8 高层分布密度图

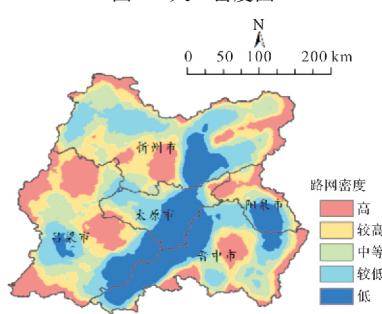


图9 路网密度图

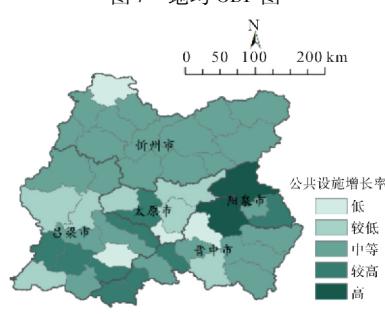


图10 公共设施投入增长率图

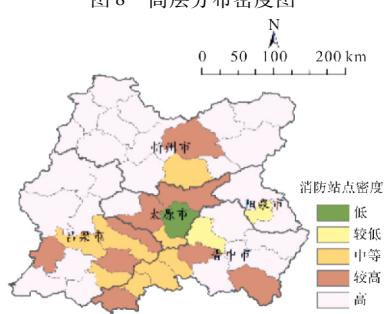


图11 消防站点密度图

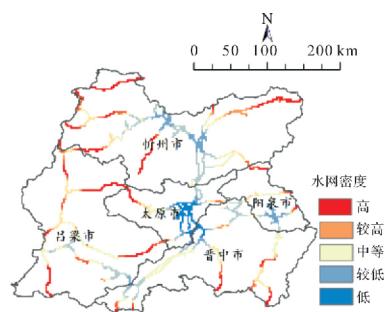


图12 水网密度图

表3 加权超矩阵表

	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{21}	U_{22}	U_{23}	U_{31}	U_{32}	U_{33}	U_{34}
U_{11}	0.00	0.17	0.00	0.16	0.10	0.16	0.00	0.31	0.00	0.31
U_{12}	0.35	0.00	0.35	0.16	0.10	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
U_{13}	0.00	0.17	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
U_{21}	0.06	0.08	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.10
U_{22}	0.06	0.00	0.17	0.10	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.10
U_{23}	0.06	0.08	0.00	0.10	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
U_{31}	0.16	0.24	0.24	0.12	0.12	0.12	0.00	0.00	0.50	0.00
U_{32}	0.16	0.00	0.00	0.12	0.12	0.12	0.00	0.00	0.00	0.25
U_{33}	0.16	0.24	0.24	0.12	0.12	0.12	0.72	0.00	0.00	0.25
U_{34}	0.00	0.00	0.00	0.12	0.12	0.12	0.00	0.49	0.50	0.00

城市化越发达的区域消防韧性越高, 消防风险越低。因而太原都市圈所在区域的整体消防风险需要综合考虑几方面的指标因素, 进而进行风险特征分析。

2.2.2 G-ANP 分析及结论

根据建立的区域型消防风险评估指标体系, 通过问卷调查收集相关研究人员对指标影响风险程度进行打分收集, 运用 ANP 方法, 使用 Super Decision, 计算加权超矩阵 \bar{W} (表 3)。

稳定化处理得全局权重 $\bar{W}^* = (0.11, 0.07, 0.02, 0.04, 0.08, 0.05, 0.17, 0.08, 0.21^*, 0.17)$, 综上可得各指标权重表(表 4)。

表 4 区域型消防风险评估指标权重表

一级指标	权重	二级指标	全局权重
灾害危险性	0.20	公众聚集场所密度	0.11
		易燃易爆场所密度	0.07
		重点保护单位密度	0.02
承灾体脆弱性	0.17	地均人口密度	0.04
		地均 GDP	0.08
		地均高层密度	0.05
消防韧性	0.63*	地均消防站密度	0.17
		水网密度	0.08
		公共设施投入增长率	0.21*
		路网密度	0.17

注: 带“*”为调整值

对区域型消防评估风险等级确定为高、较高、中、较低、低, 所对应的分值分别为 5、4、3、2、1, 分值越高说明影响风险的等级要高, 介于两者之间取中值, 评估等级为 $V = (5, 4, 3, 2, 1)$ 。现通过 6 名有经验的消防专家对各项评估指标进行赋值, 并根据评价等级, 建立以上、中、下三类白化权函数为基准的 5 个白化权函数, 即 $g_1(x)、g_2(x)、g_3(x)、g_4(x)、g_5(x)$, 以 $g_1(x)$ 为例可得公式(2)。根据灰色统计法所得所有二级指标的总灰色统计数和灰统计评估序列, 由灰色评价表可得城市火灾风险评估灰色评价矩阵 P 。

$$g_1(x) = \begin{cases} \frac{x}{5}, & x \in [0, 5]; \\ 1, & x \in [5, +\infty]; \\ 0, & x \in [-\infty, 0]. \end{cases} \quad (2)$$

$$P = \begin{pmatrix} 0.31, 0.35, 0.29, 0.05, 0.00 \\ 0.36, 0.38, 0.25, 0.02, 0.00 \\ 0.23, 0.28, 0.34, 0.15, 0.00 \\ 0.37, 0.37, 0.24, 0.02, 0.00 \\ 0.26, 0.31, 0.31, 0.13, 0.00 \\ 0.25, 0.31, 0.30, 0.14, 0.00 \\ 0.42, 0.38, 0.20, 0.00, 0.00 \\ 0.34, 0.39, 0.26, 0.02, 0.00 \\ 0.40, 0.28, 0.29, 0.02, 0.00 \\ 0.31, 0.38, 0.28, 0.03, 0.00 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

可得一级指标评估值(0.77, 0.61, 2.62), 综合评价向量(0.35*, 0.34, 0.27, 0.04, 0),

评估分值为 4.00 介于 4 到 5 之间, 即评估结论为太原都市圈所在区域消防风险偏高。

2.2.3 综合分析结论及对策建议

GIS-GANP 分析可得各区域消防风险分布情况(图 13), 综合评估结论: 太原都市圈所处区域消防风险整体偏高, 最严重的区域为: 太原市的市辖区、清徐县; 阳泉市的盂县; 吕梁市的孝义市; 晋中的介休市。而据各区域指标可分析出消防风险成因: ①市辖区内水网分布及消防站点密度较高、公共设施投入、道路通达性较好, 消防韧性较高, 但消防风险却对应最高, 原因在于市辖区受地形因素限制, 人口密度较高, 经营场所集中, 高层建筑众多, 消防韧性虽然相对其他地区较高但仍无法与消防需求相匹配, 致使在消防韧性占较高权重的综合风险评估时, 消防风险等级仍然较高。②在公共设施投入方面, 部分区域内指标得分较高, 而由于路网密度相对较低, 在权重配比影响下, 最终消防韧性不高, 在区域人口密度高的情况下, 产生综合评估时消防风险较高的结果。③盂县、孝义市、介休市的消防问题均在于消防韧性不足, 公共设施投入增长为负, 道路通达性不好, 而三地公众聚集场所密度、地均 GDP 以及人口聚集度较高, 在各项指标因素均促使消防风险高的作用下, 加权综合消防风险结果最高即可理解。

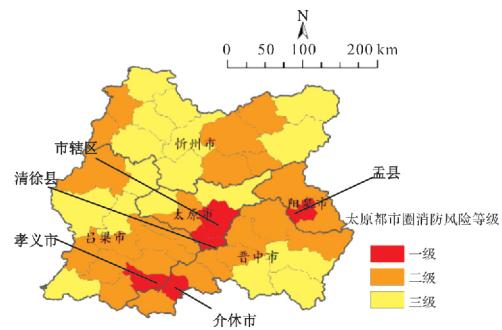


图 13 太原都市圈所属区域消防风险等级划分及重点风险区图

综上, 可知太原都市圈所属区域内消防风险等级最高的几个区域, 原因在于消防韧性、区域承灾体分布、致灾因子三方关系不匹配造成, 而就当前现状, 需要消防应急管理部门、土地规划部门及城建部门、交管部门通力合作, 破除当前三者关系不合理的局面, 增强基建, 提高公共设施投入力度, 重视多部门协同建设城市的理念, 加强消防风险防控布局, 对重点风险区域的重点风险因素进行调整, 进而对未来以区域为单位进行城市消防风险应急管理作出贡献, 保障培育型都市圈向高层次都市圈的形态不断发展, 推动城市区域联动作用的发展与融合。

2.2.4 消防站点规划趋势研究

都市圈发展不仅局限于经济、交通等方面, 消防应急管理同样要顺应都市圈发展思路。基于太原都市圈所在区域进行消防风险分析结果可知, 区域整体消防风险偏高, 需要引入 L-A 模型, 通

通过对消防站点进行重新布局规划以达到降低消防风险的目的。此外,当前城市区域融合发展向着都市圈一体化进程迈进,消防应急规划同样需要考虑并符合未来的趋势。

(1) 规划条件分析。①位置限制,城市消防站的设立有相应限制及要求,如:设立位置距离易燃易爆场所应不小于200 m,主体建筑距人员密集场所的公共建筑疏散出口不应小于50 m。②辖区确定,在接收到报警后5 min内消防员需到达火情发生地,因而需以5 min行驶的路程作为辖区范围。高峰时段车速平均为32 km/h,高峰拥堵延时指数为1.561,则正常时段平均车速为49.95 km/h,即5 min可达距离为2 666.67 m~3 902.50 m。以此为规划阻抗指标,建立消防站点辖区。③负荷均衡,确定消防站点位置及数量时,基于其他原则所作规划无法避免部分符合要求的消防站点承担过重的消防负荷,增加了火灾失控的风险概率,因此在需求点数量确定的情况下,应尽量使得各站点辖区内的需求点数量相对均衡。

(2) 规划结论及趋势分析。基于消防站点规划条件,结合太原都市圈所处区域特征分析,利用L-A模型,以覆盖率50%为例,可得表7。从城市单元视角,当前消防站点总数为82个,预计达到覆盖率为50%,所需站点数量为258个,而太原都市圈所处区域覆盖率现状为17.29%,预计整体达到覆盖率为50%,所需消防站点数量为170,减少率为34.11%。可见,从区域发展一体化角度进行消防应急管理规划,能极大减少资源的浪费,提升消防规划的时效性。从规划可视化结果可得(图14),市县之间消防站点进行协同发展,逐步呈现连带式形态,圈体状逐步呈现出来,重点规划区域以太原市市辖区为起点,向西南方向延伸。

表7 消防站点规划表(覆盖率50%)

城市/区域	当前消防站 点数量/个	覆盖率 现状/%	调整后覆 盖率/%	所需消防站 点数量/个
晋中市	14	19.15	50.84	56
吕梁市	17	7.58	50.03	90
太原市	31	22.52	50.51	45
忻州市	13	12.48	50.63	52
阳泉市	7	21.24	50.49	15
太原都市圈	82	17.29	50.24	170

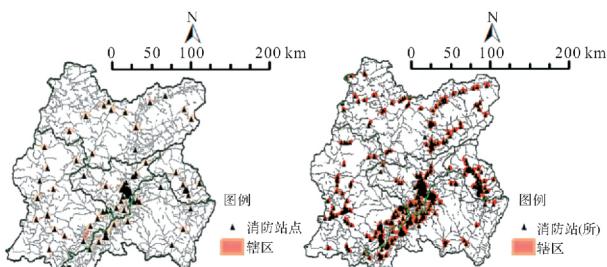


图14 太原都市圈所处区域消防站点规划示意图

3 结论与展望

3.1 研究结论与建议

消防风险管理的重要性伴随城市化进程逐步凸显,都市圈作为城市区域间发展的基础形态,其所在区域消防风险的评估及管理工作是保证其顺利进入下一阶段的基础。就城市个体而言,以都市圈所在区域作为研究对象更符合当前城市发展特点及趋势,评估单元应与评估模型相匹配,进而使评估结果更准确。本文通过分析太原都市圈所在区域特征,得出具有代表性的评估指标,引入经营场所、消防重点场所、消防站点等POI数据作为指标因素使得评估结果与现状贴合程度更高,将GIS与G-ANP方法结合,使定性、定量分析与可视化相融合,从而为评估结果具体分析提供依据,最后通过案例分析对模型的可行性进行了验证。在风险分布特征的结论下,引入L-A模型,分析区域应急管理一体化发展趋势下的消防站点规划方向,以期避免应急规划的时滞性。研究具体结论如下:

(1) POI数据符合培育发展中城市区域消防风险评估的特异性。在利用提出适用于欠发达城市区域消防风险评估的模型时,突出了相应特点,即人口及建筑的密度较高,城市建设的发展方向倾向于经营活动的提升,在规划过程中存在一些问题,所以利用POI兴趣点作为模型的指标因素能够充分反映区域现状,较统计数据而言更符合现实情况。在评估方法方面,结合GIS空间分析法与G-ANP法使得评估过程兼具主观分析与客观数据统计,既能够获得区域整体消防风险得分,又能够对具体高风险地区进行微观分析,从而进一步得出不同区域风险要点并提出减低消防风险措施。

(2) 太原都市圈所处区域属的案例为区域消防风险评估模型的可行性提供了支撑作用。在具体以太原都市圈所处区域作为分析案例时,通过提出的消防风险优化模型充分得出整体了消防风险分布特征,并对风险等级进行了划分,其中重点分析了高风险地区存在的问题,如消防韧性与诱发火灾风险的因素不匹配,公共投入率较低等问题,并进一步得出消防韧性是作为消防风险控制中的关键因素,其中公共设施投入增长率最为重要。

(3) 消防风险研究视角下培育发展中的都市圈分布特征的新特点。在已有的都市圈研究中,认为都市圈的分布形态是以中心城市为点向外进行辐射的圈层结构。而从本文研究结论中得出太原都市圈所处区域的消防风险分布呈现45°带状连绵分布。虽是从消防风险角度探索出区域之间的联系性,但因在指标方面能够体现出部分城市发展情况,同样对该都市圈的形态分布具有参考意义,即由于中心城市的核心带动作用不足,城市间交通通达程度不同,受限于地理因素在城市化建设

中未必会使得都市圈的形态呈现圈层分布。

(4) 应急管理一体化能降低公共设施建设成本。基于 L-A 模型, 以覆盖率为 50% 为例, 从所需消防站点数量的减少比率分析, 打破行政边缘, 共建应急体系及设施, 不仅能高效降低区域消防风险, 同样可以避免相邻区域的过度投入造成人力、物力等资源的浪费, 进而促进“城市病”问题的解决, 推动城市化的高质量发展。

综上, 科技的进步为应急管理提供了数据与方法, 在实际城市应急管理工作中, 数据的多源拓展及评估模型的改进, 均是优化的方向。基于城市区域协同共建态势, 都市圈必然是未来城市高质量发展的重要布局, 当前对经济、交通、产业等角度进行深度融合时, 应急管理工作同样应顺应城市演变趋势, 与时俱进, 弱化行政区划, 构建应急管理一体化布局。这既符合以人为本的战略思想, 有利于降低资源浪费, 避免应急管理规划滞缓, 同样贴合城市安全发展战略要求。

3.2 讨论与展望

本文以城市一体化发展趋势为背景, 构建以区域为研究视角的消防风险评估模型, 通过模糊算法降低误差度, 提高数据多源融合的科学性, 运用 GIS-GANP 模型, 从主客观综合角度减少过度主观或过度量化造成评估结果与事实相悖的概率, 进而分析出消防风险系数及空间分布特征, 并通过 L-A 模型对消防站点布局进行预测, 为区域风险评估提供空间分布上的参考, 为科学降低城市消防风险, 在都市圈区域内构建消防应急管理一体化提供新思路。都市圈向着高质量发展, 5G 建设进程的推进, 智慧消防的战略布局及技术难题的攻克, 均为提升城市消防的安全性提供了支持。然而, 如何构建城市大数据平台, 接入部门间的协作关系及权限如何调整, 城市数据收集、处理与反馈及时性如何保障, 如何实现动态评估等方面还有待进一步研究与探讨。

参考文献:

- [1] YAN Zhenguo, WANG Yanping, TAO Zhigang. Developing a subway fire risk assessment model based on analysis theory [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2021(11): 1–13.
- [2] 刘澎, 吕淑然, 马舒琪. 面向高层建筑物的火灾演化路径研究[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(3): 1130–1137.
- [3] 高文峰. 高层建筑防火中存在的安全隐患及改善策略[J]. 今日消防, 2021, 6(5): 111–112.
- [4] 郭佳奇, 钱源, 王珍珍, 等. 城市地下综合管廊常见运维灾害及对策研究[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 27–33.
- [5] 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, 34(1): 215–221.
- [6] 陈志芬, 黄靖玲, 李亚. 适应城市消防规划需求的火灾风险评估研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(5): 185–191.
- [7] 祝明月, 罗静, 余文昌, 等. 城市 POI 火灾风险评估与消防设施布局优化研究——以武汉市主城区为例[J]. 地域研究与开发, 2018, 37(4): 86–91.
- [8] 杨国梁, 多英全, 王如君, 等. 事故灾难类城市安全风险评估基本原则与流程[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(10): 156–161.
- [9] 张刚. 基于空间分析的城市火灾风险评估与应用——以西安为例[J]. 城市规划, 2016, 40(8): 59–64.
- [10] 刘敏, 董小珊, 叶慧, 等. 基于 GIS 空间分析的城市火灾风险评估——以驻马店市中心城区为例[J]. 安全与环境学报, 2019, 19(5): 1540–1546.
- [11] 孙世梅, 耿晓帅, 傅贵. 基于“2-4”模型的建筑电气火灾事故直接原因研究[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(4): 93–99.
- [12] DANZI E, FIORENTINI L, MARMO L. FLAME: A parametric fire risk assessment method supporting performance based approaches[J]. Fire Technol, 2021, 57: 721–765.
- [13] 姜学鹏, 韦云龙, 卢颖. 城市火灾风险评估指标体系及应用[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(3): 321–326.
- [14] 温小鹏. 基于 GIS 的区域火灾风险评估及其在城市消防规划中的应用——以福清市中心城区为例[J]. 福建建筑, 2017(4): 113–117.
- [15] 赵翔海, 杨棕景, 吴亮, 等. 船舶火灾爆炸及储罐泄漏火灾事故情景构建[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(8): 160–162, 165.
- [16] 李英攀, 李晓喆, 刘名强, 等. 基于物元分析的城市综合体建筑火灾风险评价研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2019, 53(3): 352–358, 372.
- [17] 蒋琴, 钟少波, 朱伟. 京津冀地区森林火灾综合风险评估[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(10): 119–125.
- [18] 李亚兰, 门玉明. 基于改进层次分析法的地下建筑火灾安全评价研究[J]. 灾害学, 2018, 33(3): 43–47.
- [19] WU Wenxiang. Application of fault tree analysis in LNG fire risk assessment of LNG fueled ships [J]. Vibroengineering PROCEEDIA, 2021, 36(1): 108–114.
- [20] CHEN Lei, WANG Yiqi. Research on the material fire risk index based on the GA-BP neural network [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1865(4): 21–23.
- [21] 闫绪娟, 范玲, 阮嘉婧. “一带一路”沿线国家台风灾害关联经济损失研究——以 2018 年“山竹”台风灾害为例[J]. 灾害学, 2021, 36(1): 7–12, 23.
- [22] 李丁, 刘科伟. 基于 AHP 与 GIS 的城市区域火灾风险评估研究——以克拉玛依市核心区为例[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(4): 68–73.
- [23] 徐智邦, 周亮, 蓝婷, 等. 基于 POI 数据的巨型城市消防站空间优化——以北京市五环内区域为例[J]. 地理科学进展, 2018, 37(4): 535–546.
- [24] 贺俊杰, 杨君涛. 基于火灾风险的城市消防站布局评估技术[J]. 消防科学与技术, 2021, 40(1): 130–134.
- [25] 刘纪达, 安实, 王健, 等. 一体化应急应战协作网络结构与演进——以自然灾害和事故灾难事件为例[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2020, 22(6): 96–106.
- [26] 尹稚, 袁昕, 卢庆强, 等. 中国都市圈发展报告(2018)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2019.

Research on Distribution Characteristics and Planning Trend of Regional Fire Risk Based on Multi – Source Data Fusion ——Take Taiyuan Area as an Example

YAN Xuxian¹, RUAN Jiajun¹, MIAO Jingyi^{1,2} and FAN Ling¹

(1. School of Management Science and Engineering, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China; 2. School of Economic Statistics, Guangdong Baiyun University, Guangzhou 510550, China)

Abstract: The arrival of an urban society is accompanied by the increase of fire protection risks. Emergency management has weakened the administrative boundaries. The use of integrated planning is the idea and direction to ensure the high – quality development of new urban areas. Grasp the spatial evolution characteristics of regional fire protection risks, establish and adjust fire stations in a targeted manner, and reduce fire risks predictably. Incorporate POI data into the research framework, identify urban area – specific fire risk factors, use the GIS – GANP model to explore regional fire risk coefficients and spatial distribution characteristics, introduce the L – A model, and analyze the trend of fire station planning from multiple angles. The results show that the POI data conforms to the specificity of the fire risk assessment of regional integrated development; the comprehensive fire risk coefficient of the area where Taiyuan City is located is relatively high, with a 45° band – like risk distribution pattern in space, with fire resilience, disaster – bearing body distribution and hazard factors. For the problem of the mismatch between the three, the risk levels are divided. The high – risk areas are: the municipal districts of Taiyuan City, Qingxu County, Yuxian County of Yangquan City, Xiaoyi City of Luliang City, and Jiexiu City of Jinzhong City; The metropolitan area with Taiyuan as the central city is a non – circle structure; the integration of emergency management can reduce the construction cost of public facilities.

Key words: urban regional development; GIS – GANP; fire risk research; multi – source data; fire resilience; Taiyuan metropolitan area

(上接第 95 页)

- [15] 杨元合. 全球变化背景下的高寒生态过程[J]. 植物生态学报, 2018, 42(1): 1–5.
- [16] 张士锋, 华东, 孟秀敬, 等. 三江源气候变化及其对径流的驱动分析[J]. 地理学报, 2011, 66(1): 13–24.
- [17] 刘纹瑕, 陈辉, 巩国丽, 等. 51 年来柴达木盆地东部地区气候特征分析[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(8): 1806–1810.
- [18] 刘平英, 杨宗凯, 胡颖, 等. 2016 年云南省雷电灾害分布与致灾因素相关性分析[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 130–135.
- [19] 陈小艳, 康强, 植耀玲. 1998—2019 年南宁市雷电灾害特征分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(1): 21–25.

Temporal and Spatial Distribution Patterns of Lightning Hazard and its Characteristics of Qinghai Province

CAI Yongxiang, LUO Shaohui, TANG Wenting, LIU Xiaoyan, WANG Jun and WANG Zhibang
(Meteorological Disaster Prevention Center, Xining 810001, China)

Abstract: Based on the data of lightning disasters in Qinghai Province from 1995 to 2020, the spatial and temporal distribution characteristics of lightning disasters in this region are studied. The results show that the lightning disasters in Qinghai Province increased from 1995 to 2006. From 2007 to 2015, the lightning disasters in Qinghai Province showed a decreasing trend. From 2016 to 2020, the lightning disasters in Qinghai Province showed a steady and slightly increasing trend. The spatial distribution of lightning disasters in Qinghai Province is characterized by more in the east and less in the west and more in the south and less in the north. Among them, the lightning disaster intensive areas are located in Xining City, Datong County, Henan County, Huangzhong County and Huzhu County. From 1995 to 2020, lightning disaster caused 282 casualties in Qinghai Province, with an average of 11 people per year. Meanwhile, it also caused losses to office equipment, radio and television, electric power system, communication system and housing, with an economic loss of 12.471 2 million yuan, with an average of 479 700 yuan per year. Based on the study of the characteristics and laws of the temporal and spatial distribution of lightning disaster in Qinghai Province, it is of great guiding significance to grasp and defend the lightning disaster.

Key words: lightning hazard; spatial and temporal distribution; hazard characteristics; casualty; economic losses; Qinghai province