引文格式：陈跃毅. 融合多源时空数据背景下的城市火灾危险性评估研究[J]. 地理空间信息, 2023, 21(11): 63-67. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.11.015

融合多源时空数据背景下的城市火灾危险性评估研究

陈跃毅[1]
（1. 北京大学 地球与空间科学学院，北京 100871）

摘　要：通过选取城市火灾风险评价对象，展开针对性调研，在大数据分析思想的指引下，将相互关系作为因果关系，并通过多源数据分析对评价指数权重、得分进行率定，从而获取了福州市城区的火灾风险时空分布图。首先通过高德地图API对火灾事故历史出警数据进行地址分析，得到福州市区历史火灾事故的分布情况；再结合城市用地结构、土地使用特征、居民生活火力图等多源异构资料，探讨其与城市火灾空间划分的关联；最后以福州地区为例，建立具备完整数学基础的火灾风险评价体系和火灾风险动态评价方法，为城市消防规划管理提供基础数据。

关键词：融合；多源时空数据；多元线性回归；火灾危险性评估
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）11-0063-05

Urban Fire Risk Evaluation Based on Multi-source Spatio-temporal Data

CHEN Yueyi[1]
(1. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: In this paper, we selected urban fire risk evaluation objects to carry out targeted research. Under the guidance of big data analysis ideas, taking the relationship as causality, we calibrated the evaluation index weight and score through multi-source data analysis, so as to obtain the spatio-temporal distribution map of fire risk in Fuzhou City. Firstly, we proceeded the address analysis of historical alarm data of fire accidents through the Gaode map API, and obtained the distribution of historical fire accidents in Fuzhou urban area. Then, combining with the multi-source heterogeneous data such as urban land-use structure, land-use characteristic, residents' living fire map, we discussed its relationship with the spatial division of urban fire accidents. Finally, taking Fuzhou for example, we established a fire risk evaluation system with a complete mathematical foundation and a dynamic fire risk evaluation method, which could provide the basic data for urban fire planning management.

Key words: fusion, multi-source spatio-temporal data, multiple linear regression, fire risk evaluation

城市火灾风险评价是指对城市用地区域内建筑物、场地、设备等所引起火灾的风险与危害程度做出的综合评估。系统分析城市、地区的火灾隐患情况和变化趋势，并科学评价火灾危险性，有助于当地政府和相关主管部门进一步认识消防安全现状，便于根据影响消防安全的客观条件采取相应对策，从而使消防安全政策更加科学。火灾事故风险评价即火灾事故发生的概率，是城市规划火灾事故风险评价的主要部分，对城市规划消防设计和控制政策的作用比较直接。在我国的Risk、Hazardand Value Evaluation软件中，通过细化建筑物单体尺度的相关数据，并根据其经验而建立的处理模式，对各种建筑物潜在的火灾风险做出了判断。英国Entec集团开发的国际火灾风险评价工具箱在深入借鉴了其他行业安全性评价与操作实践的基础上，从国际火灾事故风险的视角入手，对当地的火灾事故风险做出了判断。

每年有超过30万人死于火灾，是世界上第四大意外伤害因素。根据可循文献统计，最先开展火灾风险评价与相关研究的国家是美国；而最初的研究通常是基于特殊场合，如飞机、能源工厂、核动力电厂等。加拿大研究者Harmathy等则认为，火灾实验一般都是根据某个部分的危害状况做出的，因此通过防火实验标准简单地确定火灾危害性是不合理的，而应将潜在的危险因素建立为一个相辅相成的评估准则进行火灾风险评价。目前国外学者较多地将环境生态科学的研究成果与各种评价方法进行有机结合，如将煤矿火灾案例与各种评价方法有机结合的火灾风险评价。1994年我国研究人员霍然等最早给出了中国火灾风险评价模式的初步框架，随后陆伟民等对当时上海市南京东路建筑历史火灾与消防进行了现场研究，形成了消防和

收稿日期：2022-08-09。
项目来源：国家重点研发计划资助项目（2018YFB0505500、2018YFB0505504）。
作者简介：陈跃毅（1995—），硕士研究生，主要从事空间数据研究，E-mail：2608507798@qq.com。

失火信息资料库，为建筑物的安全评价提供了重要依据；目前我国科学家已在火灾动力学理论、防灭火关键技术、火灾模化技术和灭火标准化等方面进行了大量研究工作，并获得了许多突破性进展，提升了我国消防的总体科学技术水平。由于着火隐患条件的增加，预防和扑救着火事件的困难随之加大。火灾事故的发生必然会给人民生命造成巨大伤害，甚至对心理产生巨大冲击。消防安全对经济社会发展和百姓安居乐业的重要性空前提高，使得火灾事故风险评价成为一项亟待探索的问题。分析2015—2019年全国火灾事故统计资料发现，我国火灾事故年均发生28万多起，直接损失达到37亿元，遇难人数将近1 500人，伤残人数将近1 000人。近5年全国火灾事故数量总体稳定并略呈减少态势，但仍保持在高位运行，尤其是县城、乡镇和农村地区的火灾事故数量都有明显增长态势，因此分析火灾风险评估方法、特点、社会意义，对于开展火灾风险评估具有一定的借鉴意义。

1 城市火灾危险性评估的相关理念

1.1 城市火灾危险性评估原则

1949年我国只有10%的人口生活在城市，而截至2019年6月我国有4个直辖市、293个地级市、375个县级市，近8.3亿人在城市生活；城市数量从132个增至672个，建制镇数量从2 176个增至21 297个。国家统计局最新发布的数据显示，2020年我国城镇化率为60.65%，预计到2022年，城市化率将达到62%。随着社会经济发展和城市化进程的加快，城市火灾发生的频率和造成的损失也呈上升趋势，若防控不当，将严重影响我国经济的可持续发展，危害社会治安稳定。火灾风险评估是通过科学的方法识别、分析并评价火灾风险的大小，以减小和控制火灾后果的基本手段，是火灾科学研究的重要组成部分。城市区域火灾风险评估是对整个城市或城市的行政区域、社区、特殊区域等进行火灾风险评估，以找到待评价区域内火灾风险较高的地点，有针对性地制定火灾防范措施和消防规划，降低城市火灾风险。根据上述概念和研究范围，本文确定城市火灾危险性评估的基本原理为：

1）区域的火灾危险性由其包含的单个对象火灾危险性构成，具有“和”的性质。

2）地理意义上的不同区域火灾危险性构成一个集合，因而区域间火灾危险性的关系与区域火灾危险性的运算自然符合集合论中集合之间的关系和集合运算处理（交换律、结合律、分配律等）。例如，若区域A包含区域B，则区域A的火灾危险性大于区域B，即一个城市的火灾危险性大于其下辖某大队的火灾危险性。

3）在同一城市中，具有相似地理、建筑、人口和经济特征的两个区域火灾危险性基本相同。

1.2 火灾危险性评估研究方法

面对严峻的形势，需要进一步加强消防安全管理工作。国务院出台的国发[2011]46号《国务院关于加强和改进消防工作的意见》要求，每半年对消防安全形势进行分析研判和综合评估。为认真贯彻落实上述要求，公安部消防局制定的公消[2012]341号《建立消防安全形势分析评估制度的指导意见》明确要求，每年开展一次综合性消防安全形势分析评估工作，对省、市、县行政区域内城市和农村消防安全形势进行分析评估；对于一些消防安全重点区域，可开展区域性消防安全形势分析评估。公消[2017]20号《关于深入开展消防安全风险调研评估加强评估结果运用的通知》也要求对城市总体消防安全风险进行研判和综合评估，并采取针对性措施解决突出问题。本文以福州市城区（三环内）为例，采用统计分析和指数评价相结合的方法对福州市城区火灾风险进行评价，侧重于数学方法、淡化主观认识，量化确定评价指数计算方法和指数权重。

基于由火源所引起的逻辑，本文将引起火灾的要素简化为主体—自然环境—行动，即起火的原因是人在特定环境下的特定行动，而起火危险性则依人群密度、行动、自然环境所产生空间而有所不同。因此，本文选取百度人群生活热力图数据表现居民密度（X_1）、城市规划发展现状土地属性数据表现行动模式（X_2）、控制性详细规划中土地发展特性数据表现行动条件（X_3），对3类指标因子进行打分和归一化；再利用ArcGIS栅格化数据处理，并通过加权综合运算得到火灾风险评价结果，即 $\hat{y}=b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_0$。权重确定法主要采用SPSS多元线性回归模型，以$X_1$、$X_2$、$X_3$为不同因变数，以历史火灾密度的分布为因变数的回归方程，采用多重线性逐步回归计算3个指标的权重。

1.3 城市火灾危险性水平分级

火灾是指在时间或空间上失去控制的燃烧所造成的灾害，是发生频率较高和时空跨度最大的一种灾害。随着社会的快速发展和财富的日益增加，火灾损失增多、危害范围扩大的总趋势是客观规律。

1）以建筑面积为基数衡量城市火灾风险水平能建立起连接宏观风险与微观风险的桥梁。由城市火灾危险性评估原理可知，微观风险的载体是区域内单个对象，单个对象有建筑面积特征，但不具备人口特征，因此建筑面积可作为单个对象火灾危险性水平变换到单个对象火灾危险性的乘子，从而起到桥梁作用。

2）尽管国内外以人口为基数衡量火灾状况非常普遍，但仅用于宏观指标表征；而火灾发生的可能性，即火灾危险性以建筑面积为基数衡量也已广泛得到相关统计数据支持，如日本的火灾危险性数据，办公楼火灾发生概率为6.67×10^{-7}起/m^2·a，商店火灾发生概率为4.12×10^{-6}起/m^2·a等。因此，选择以建筑面积为基数衡量城市火灾危险性水平更合适。城市火灾危险性水平分级确定原则为应充分考虑火灾危险性水平分布现状和发展以及各分级频数分布总体呈类钟型分布。根据上述原则，结合聚类分析和火灾危险性水平分布，确定城市火灾危险性水平分级（表1）。

表1　城市火灾危险性水平分级

城市火灾危险性水平	城市火灾危险性水平区间	描述	代表值
极高	（4.000，∞）	具有1人及以上潜在人员死亡的火灾发生率超过400×10^{-9}起/m^2·a	FVH=5.25
高	（1.500 0，4.000]	具有1人及以上潜在人员死亡的火灾发生率大于150×10^{-9}起/m^2·a，但不超过400×10^{-9}起/m^2·a	FH=275
中	（0.500 0，1.500 0]	具有1人及以上潜在人员死亡的火灾发生率大于50×10^{-9}起/m^2·a，但不超过150×10^{-9}起/m^2·a	FM=0.67
低	（0.005 0，0.500 0]	具有1人及以上潜在人员死亡的火灾发生率大于0.5×10^{-9}起/m^2·a，但不超过50×10^{-9}起/m^2·a	FL=0.25
极低	（0.000，0.005 0]	具有1人及以上潜在人员死亡的火灾发生率不超过0.5×10^{-9}起/m^2·a	FVL=0.002 5

注：具有1人及以上潜在人员死亡，以建筑面积为基数。

2　指标评分

2.1　火灾出警历史数据

近5年福州市各大队的出警记录主要包括火灾出警、其他抢险、火虚假警等信息，内容涵盖了行政区划、接警人员、到场人员、控制人数、熄灭方法、事件发生地、参战方式、事件类别等属性信息，但由于信息时间跨度过长、记载形式以数据为主，没有事故现场的具体位置数据。本文通过筛选采集数据库中所有火灾事故的出警信息，采用地址编码方法和网络地图的API程序开发方法对9 799起历史火灾事故出警信息中的所有历史地点属性进行了地址分析，对所有历史火灾位置进行了空间复原，并将坐标系转换为CGCS2000。

2.2　用地性质现状

本文将土地类别简化至大类，计算各地类单位面积发生火灾的频率，并进行归一化处理，作为用地现状评估值（表2）。归一性评分结果栅格范围为10 m像元大小，若像元中几个元素都拥有同样的数值，则集合这些元素的范围，像元中拥有最大面积的集合元素为分配给像元的值。

2.3　用地开发性质

福州市城市规划与管理委员会将土地分为可开发土地和一般保护用地两类，其中可开发土地多为老寮屋区、老旧小区、待征迁用地，建设性质、居民群体受教育程度、消防安全意识等状况十分复杂，且火灾安全隐患很大。城市开发对各地类影响较大，在粗放的土地利用方式下，土地利用变化显著，主要表现为建设用地对其他用地的大量占用。土地开发性质指数评价方法同用地现状指数，分值见表3。

表2　用地现状评分

用地性质	面积/m^2	火灾发生次数/起	火灾频次	归一化评价
公共管理与公共服务用地	18.153 3	718	39.552 1	0.842 9
商业服务业设施用地	6.755 6	317	46.924 2	1.000 0
非建设用地	24.905 0	27	1.084 1	0.023 1
绿地与广场用地	12.342 7	115	9.317 2	0.198 6
区域交通设施用地	7.765 6	33	4.249 5	0.090 6
工业用地	16.220 2	395	24.352 3	0.519 0
居住用地	62.798 42	2 917	46.450 2	0.989 9
道路与交通设施用地	20.913 2	430	20.561 2	0.438 2
公用设施用地	1.117 5	18	16.108 1	0.343 3
物流仓储用地	1.537 9	18	11.704 1	0.249 4

表3　用地开发性质评分

开发性质	面积/m^2	火灾发生次数/起	火灾频次	归一化评价
开发	18.129 5	697	38.445 6	1.000 0
保留	154.379 8	4 291	27.795 1	0.723 0

2.4　人口分布数据

寻找对象之间的相关性，以此来预测未来的发展，是大数据分析思维的重要目标。虽然人口分区热像图仅能反映人口密度的无量纲，但仍可从一定程度上讨论其与火灾发生的空间关系。由图1可知，在清

晨、工作时间（包括周末）以及20:00，火灾的发生与人们生活压力有明显的相关性。百度热图采用工作日9:00、15:00、20:00等时段的人群分布和热像图对工作日上午、下午、晚上3个时段的人群进行了详细描述，但数据分析发现，该时段的热量图量纲比其他时段低得多，因此不能作为该分析的依据。鉴于人口分布与热力图统计的无量纲性，本文对热力图数据进行重新采样，将人口聚集程度分为1~5级，并统一各时间人口集聚度量准则，依次统计各时段各人口集聚等级内单位面积火灾事故的发生频次，根据各时段火灾的发生频次占比决定权重（表4）。

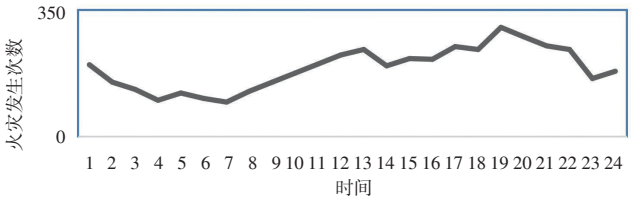


图1 城区火灾发生次数时间分布

表4 人口密度等级评分

密度等级	单位面积火灾发生频次			加权火灾发生频次	人口密度等级评分
	上午	下午	晚上		
1	1.026 7	1.543 8	0.896 9	1.180 5	0.045 8
2	0.023 8	0.021 7	0.024 8	0.023 9	0.000 9
3	0.340 7	0.347 8	0.362 8	0.359 3	0.013 9
4	7.548 2	6.890 0	9.159 3	8.005 7	0.310 3
5	30.411 4	20.551 3	25.154 4	25.798 7	1.000 0

3 指标权重测算

本文对3种自变量和因变数值的登机口变量以及一个因变量的栅极变量实现了矩阵化，并利用SPSS多元线性回归模型中的渐进回归分析法构建了回归模型，从而校正了权重。其因变数均采用10 m×10 m栅格，人口聚集因子采用工作日20 h内的人口分布热力评分数据，因变数因子则采用19~21 h的人口火灾分布热核密度数据，像元单位为次/km^2。与ArcGIS系统中的像元一一对应时，首先通过Matlab算法读取登机口的每个正像元，并保存为列矢量；然后将转化为列矢量的每个自变数和因变数录入SPSS，并通过多角回归计算方差分析的结果（表5），可以看出，采用F检验方法对回归方程进行显著性检验，并描述了不同因素的复合影响情形，当F=10 023.01时，显著性为0.000，证明对回归方差做了显著检查（F检验），形成的线性回归模型具有统计意义。具体回归系数见表6，可以看出，通过t试验，所有回归系数的显著性和sig值均未达到0.001，表明各数据都具有统计意义，则逐步回归方程为$\hat{y}=-4.809+15.140x_1+13.083x_2+32.480x_3$。

表5 方差分析

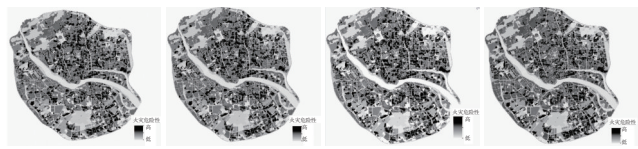
参数	平方和	自由度	均方差	F	显著性
回归	26 081 385.85	3	8 693 795	10 023.01	0.000
残差	367 422 863.4	423 599	867.384	–	–
总计	393 504 249.3	423 602	–	–	–

表6 回归系数与显著性检验

模型	非标准化偏系数		标准化偏回归系数	t	显著性
	b	标准误差			
常量	–4.809	0.427	–	–11.268	0
用地性质	15.14	0.124	0.185	122.578	0
人口	13.083	0.16	0.123	81.899	0
开发性质	32.48	0.569	0.085	57.127	0

4 火灾危险性评估

本文采用多元线性回归模型率定确定系数，各像元的火灾概率得分预测不仅一定要先把每个系数所得到的对应权重相加后再加和，而且还需特别注意常数的问题，因为这样危险性系数在一个层次上就可以表达出火灾频次预测。根据人口密度分布的动态性，本文提出了动态评估理论，将人类各个时期的平均生存状态数据分别代入人口数据中，以评价火灾危险性在年龄序列中的动态变化情况；再根据本文提出的回归方程，将其处理为10 m×10 m的栅格数据；最后通过ArcGIS即可得到研究区域的火灾危险性评价结果（图2）。



a 9:00 b 15:00 c 20:00 d 24:00

图2 火灾危险性动态评估结果

5 结 语

以往的城市火灾风险评价以定性分析为主，或通过专家评分对参数进行定量分析，这主要是受调查方法的限制，多源公开信息为精细化分析城市相关风险提供了有力支持。本文通过多源调查，在因子评估和权重设定上做出了另类探索，并以福州市为例进行了火灾风险的动态评价。调研结论基本满足福州市实际情况，证实了指标因子选择、评价、权重的科学合理。研究中的因子评价、权重可进行一定范围的推广，能很好地为消防专项计划、城市交通总体规划等提供基础与保障。本文对火灾出警记录的时间依赖性较高，同时由于总人口的热力统计主要来源

于互联网，其内在核心算法不得而知，因此怎样从计算层次上进一步提高记录中空间落点的精确度以及怎样准确表达真实的人口分布情况都需要进一步深入探讨。

参考文献

[1] 罗翔. 编制《城市消防规划规范》的思考[J]. 消防科学与技术,2009(7):53-55

[2] 刘应明. 城市消防规划规范中相关内容探讨[J]. 城乡规划(城市地理学术版),2012(4):13-17

[3] Rasbash D J. Evaluation of Fire Safety[J]. Fire Technology,2005,41(1):67-70

[4] 李丁. 基于火灾风险评估的城市消防规划研究[D]. 西安:西北大学,2013

[5] Dziyauddin R A. Smart Fire Emergency System for Buildings: A Review[C]//Proceedings of International Conference on Telematics and Future Generation Networks(TAFGEN),2018:125-130

[6] 连旦军,董希琳,吴立志. 城市区域火灾风险评估综述[J]. 消防科学与技术,2004,23(3):240-242

[7] Li J F,Yao X H,Kui Q. Fire Safety Assessment Technology Research[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Control and Automation,2009:1 314-1 317

[8] Twigg J,Christie N,Haworth J,et al. Improved Methods for Fire Risk Assessment in Low-income and Informal Settlements[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2017,14(2):139-150

[9] Harmathy T Z. Fire Performance Standards and the Problem of Fire Risk Assessment[J]. Fire and Materials,1980,4(4):173-176

[10] Wang H Y,Tan B,Zhang X D. Research on the Technology of Detection and Risk Assessment of Fire Areas in Gangue Hills[J]. Environment Science and Pollution Research,2020,27(31):38 776-38 787

[11] 霍然,程晓舫,解焕民. 火灾危险评估模型的基本结构[J]. 消防技术与产品信息,1994,7(6):28-32

[12] 陆伟民,李春和,朱伯龙. 南京东路火灾预测咨询系统[J]. 同济大学学报(自然科学版),1994,22(1):83-88

[13] 周白霞. 我国近五年居民火灾情况分析及防范对策[J]. 武警学院学报,2016,32 (4):53-56

[14] 孙旋. 我国消防科技发展现状及展望[J]. 安全,2020,41(2):1-6

[15] 李春晨. 区域火灾危险性评价与预测[D]. 沈阳:东北大学,2008

[16] 王志明,李己华,吴继承,等. 我国城乡火灾的形势及特点[J]. 消防界(电子版),2020,6(13):63-66

[17] 李苗裔,马妍,孙小明,等. 基于多源数据时空熵的城市功能混合度识别评价[J]. 城市规划,2018,42(2):97-103

[18] 龙瀛,张宇,崔承印. 利用公交刷卡数据分析北京职住关系和通勤出行[J]. 地理学报,2012,67(10):1 339-1 352

[19] 维克托·迈尔·舍恩伯格,周涛. 大数据时代 生活、工作与思维的大变革[J]. 人力资源管理,2013(3):174

[20] 黄欣荣. 大数据时代的思维变革[J]. 重庆理工大学学报(社会科学),2014,28(5):13-18

(上接第38页)

[4] 蒋星详,肖莉. 一种多特征融合的高分辨率遥感影像道路中心线提取算法[J]. 测绘地理信息,2019,44(4):98-101

[5] 李玉,王亚琼,赵雪梅,等. 基于随机投影深度函数的非典型道路中心线提取[J]. 中国矿业大学学报,2018,47(5):1 131-1 140

[6] 张立恒,王一,高力,等. 基于高斯预处理的道路中心线识别算法研究[J]. 电子设计工程,2020,28(2):12-16

[7] 胡楠. 利用方向纹理特征和卡尔曼滤波搜索遥感影像道路中心线[J]. 影像技术,2018,30(6):54-56

[8] 丁磊,姚红,郭海涛,等. 利用邻域质心投票从分类后影像提取道路中心线[J]. 中国图象图形学报,2015,20(11):1 526-1 534

[9] 邓巧,周绍光,胡屹群,等. 结合Steger方法和影像分类的道路中心线提取[J]. 地理空间信息,2018,16(2):64-67

[10] 杨威,万幼川,何培培. 基于机载LiDAR数据的城区道路中心线提取[J]. 地理空间信息,2015,13(4):75-77

[11] 杨燕,黄彦丽,马静. 基于机载LiDAR和高分辨率遥感影像的道路中心线提取[J]. 地理空间信息,2014,12(4):34-36

[12] 王馨苑,周绍光,胡屹群. 基于GPS车辆数据和图像配准的道路中心线提取[J]. 地理空间信息,2018,16(1):48-50

[13] 唐智慧,吴虹坪,周星宇,等. 基于格网相交的遥感影像道路中心线提取方法[J]. 计算机仿真,2022,39(1):130-133

[14] 李俊杰,刘鹏程,顿玉多吉. 基于步行轨迹的复杂道路中心线提取方法[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2020,54(1):89-95

[15] Esri. ArcGIS Help(10.2,10.2.1 and 10.2.2)[EB/OL].(2014-01-01)[2021-10-15]. https://resources. arcgis. com/en/help/main/10. 2/index. html