

城市火灾风险区划中的 GIS 应用框架

张昌文¹, 夏成华¹, 钟少波²

(1. 抚州市消防支队, 江西 抚州 344000; 2. 清华大学 工程物理系 公共安全研究院, 北京 100084)

摘要:将城市火灾风险区划方法与 GIS 功能相结合, 选取城市火灾风险区划指标体系, 介绍指标体系计算公式; 说明城市火灾风险区划步骤; 建立城市火灾风险区划 GIS 应用框架。以江西省抚州市为例, 实践了 GIS 在城市火灾风险区划中的应用, 介绍基于 GIS 的城市火灾风险性区划研究的流程及相关应用成果。

关键词:城市火灾; 风险区划; GIS

中图分类号:X913.4, TU998.1 **文献标志码:**B

文章编号:1009-0029(2012)11-1233-05

城市火灾风险区划与城市火灾发生的时空分布、强度与频度、消防力量、消火栓、消防水源、消防重点单位分布等城市空间信息和数据密切相关, 对空间分析、空间元素依赖关系、定量分析及数据样本的要求越来越迫切。GIS 将定性分析与定量分析相结合, 应用于城市火灾风险区划, 正好解决了这个问题。

当前, 国内外对 GIS 用于风险区划研究较多, 已有系统的理论和方法, 但专门研究 GIS 用于城市火灾风险区划方面的实践还较少。因而有必要分析 GIS 功能特点和城市火灾风险区划方法, 建立城市火灾风险区划 GIS 应用框架, 为城市火灾风险区划提供基础借鉴。

1 城市火灾风险区划 GIS 应用框架

1.1 城市火灾风险区划指标体系

(1) 城市火灾风险区划指标。综合各致灾因子的危险度, 可建立城市火灾致灾因子危险性指数 D 的计算公式, 见式(1)。

$$D = \omega_1 D_1 + \omega_2 D_2 + \cdots + \omega_n D_n = \sum_{i=1}^n \omega_i D_i \quad (1)$$

式中: ω_i 为第 i 个致灾因子危险性的权重; D_i 为第 i 个致灾因子的危险度。

综合各受灾体的脆弱度, 可建立城市火灾受灾体脆弱性指数 V 的计算公式, 见式(2)。

$$V = v_1 V_1 + v_2 V_2 + \cdots + v_m V_m = \sum_{i=1}^m v_i V_i \quad (2)$$

式中: v_i 为第 i 个受灾体脆弱性的权重; V_i 为第 i 个受灾体脆弱度。

综合孕灾环境的各敏感度, 可建立城市火灾孕灾环境敏感性指数 S 的计算公式, 见式(3)。

$$S = \lambda_1 S_1 + \lambda_2 S_2 + \cdots + \lambda_j S_j = \sum_{i=1}^j \lambda_i S_i \quad (3)$$

式中: λ_i 为孕灾环境第 i 个因素敏感性的权重; S_i 为孕灾

环境第 i 个因素敏感度。

综合抗御城市火灾风险的各力量的有效度, 可建立城市火灾抗灾力量有效性指数 E 的计算公式, 见式(4)。

$$E = \mu_1 E_1 + \mu_2 E_2 + \cdots + \mu_k E_k = \sum_{i=1}^j \mu_i E_i \quad (4)$$

式中: μ_i 为城市火灾抗灾力量第 i 个力量有效性的权重; E_i 为城市火灾抗灾力量第 i 个力量有效度。

(2) 变量层数据归一化处理。由于城市火灾风险区划综合模型变量层数据的含义不同, 造成变量层数据的量纲各异, 因此必须对数据进行归一化处理, 统一变化到 $[0, 1]$ 范围。归一化处理有很多方法, 在进行聚类分析、关联分析或因因子分析时, 常用的方法是 Z -score 转换法, 计算公式见式(5)。

$$Z_x = \frac{x_i - \bar{x}}{S_D} \quad (i=1, 2, \cdots, n) \quad (5)$$

式中: Z_x 为指标 x 的标准分数; S_D 为指标 x 的标准差; x_i 为第 i 个城市区划区域的指标 x 的数值; $\bar{x}$ 为全部区划区域的指标 x 的平均值。

若变量取值越高时对各指标的贡献越低, 理论上则需要相应地将 Z -score 转换法的计算公式中的分子分母倒置, 见式(6)。

$$Z_x = \frac{S_D}{x_i - \bar{x}} \quad (i=1, 2, \cdots, n) \quad (6)$$

(3) 城市火灾风险区划综合模型权重的计算。处理权重关系常用的方法是层次分析法。计算可得致灾因子危险性指数 D 、受灾体脆弱性指数 V 、孕灾环境敏感性指数 S 和抗灾力量有效性指数 E 的权重系数分别是 $\omega_1 \approx 0.306$, $\omega_2 \approx 0.367$, $\omega_3 \approx 0.136$, $\omega_4 \approx 0.191$ 。

(4) 城市火灾风险区划综合模型的计算公式。将 D 、 V 、 S 和 E 的特征值 Y 进行线性加权合成, 可确定城市火灾风险区划综合模型(UFRRCM)的风险指数 R_{UFRRCM} , 则城市火灾风险区划综合模型的计算公式, 见式(7)。

$$R_{UFRRCM} = \sum_{i=1}^m \omega_i Y_i \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (7)$$

式中: ω_i 为 UFRRCM 的第 i 个子系统相对目标层的权重系数; Y_i 为 i 个子系统的特征值; m 为 UFRRCM 的子系统的总个数。

故有式(8)。

$$R_{UFRRCM} = 0.306Y_1 + 0.367Y_2 + 0.136Y_3 + 0.191Y_4 \quad (8)$$

1.2 城市火灾风险区划研究的技术路线

在辨识城市火灾风险源的基础上,考虑城市火灾风险区划的影响因子,选取城市火灾风险区划指标体系,按照一定方法计算城市火灾可能造成的危害,根据危害程度对城市火灾风险空间分布进行区划,从而划分出各个区域风险等级。区划步骤见图 1 所示。

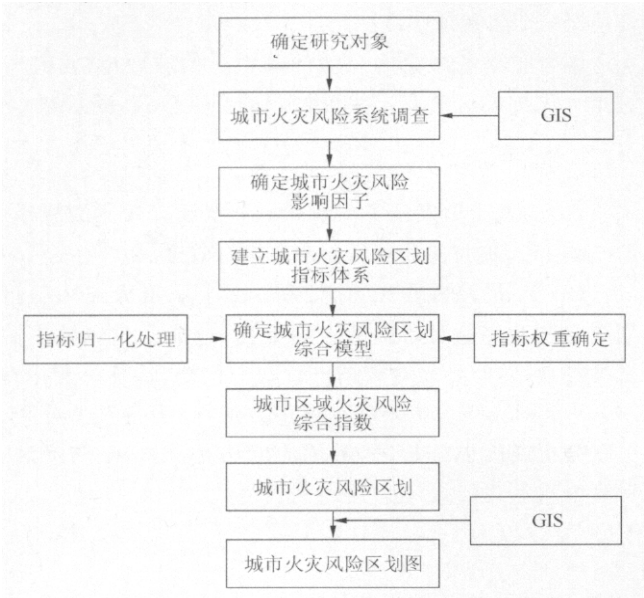


图 1 城市火灾风险区划的步骤

1.3 GIS 应用框架的建立

在城市火灾风险区划研究中,通过 VBA 编程及 GIS 中的 ModelBuilding 图解建模可完成城市火灾风险区划综合模型 UFRRCM、致灾因子危险性指数计算模型、受灾体脆弱性指数计算模型、孕灾环境敏感性指数计算模型、抗灾力量有效性指数模型等与 GIS 的集成。

城市火灾风险区划应充分利用 GIS 的数据输入、存储、管理、分析和输出 5 大基本功能,通过空间分析建模,结合相关数学模型,将 GIS 功能应用于城市火灾风险区划研究的各个环节。按照城市火灾风险区划步骤,建立 GIS 在城市火灾风险区划中的应用框架,对提高城市火灾风险区划水平具有重要作用。笔者建立的 GIS 在城市火灾风险区划中的应用框架,见表 1 所示。

建立 GIS 在城市火灾风险区划中的应用框架的目的是理清城市火灾风险区划研究中可用到和需要用到的 GIS 功能。框架明确了城市火灾风险区划研究中的 GIS 应用方向及功能,通过城市火灾风险区划各环节中 GIS 功能的原理与机制、数据处理与分析方法、图解建模与可视化表达步骤的把握,将 GIS 功能应用于城市火灾风险区划的各个环节,也是优化城市火灾风险区划方法,提高城市火灾风险区划成果水平的基础。

2 城市火灾风险区划 GIS 应用框架的实践应用

选择江西省抚州市作为典型城市进行基于城市火灾

风险区划 GIS 应用框架的城市火灾风险区划实践研究。

表 1 GIS 在城市火灾风险区划中的应用框架

应用内容	GIS 功能	城市火灾风险区划结果
数据支持	数据处理(格式转换、要素复制、要素合并、要素分割及裁剪等)	城市电子地形图、城市行政区划图、致灾因子分布图、受灾体分布图、孕灾环境分布图、抗灾力量分布图,等
	专题图生成(叠加分析、图层相关代数计算等)	每万人口火灾发生率专题图、重大危险源专题图、一般危险源专题图、自然环境专题图、社会环境专题图、消防实力专题图、消防基础设施专题图、消防社会化程度专题图,等
	数据存储(ArcCatalog 中的 Geodatabase 数据库创建),通过属性数据中增加字段,将统计、计算数据录入	基础底牌空间数据及属性数据、区划研究所需专题数据、城市火灾风险区划指标数据
模型集成	矢量数据缓冲区分析、矢量数据叠加分析及检索、矢量数据量算	确定研究单元
	VBA 开发,结合 GIS 图解建模建立城市火灾风险区划指标模型	基于 GIS 的城市火灾风险区划指标模型
	城市火灾风险区划图解模型	城市火灾风险单因子区划专题图、城市火灾风险综合区划专题图
可视化表达	数据符号化表达、专题图输出及查询	基于 GeoDatabase 的数据集
	基于 ArcGIS Desktop 的 GUI 定制、VBA 开发	单机版城市火灾风险区划信息系统
	VS2005 开发环境,基于 ArcGIS Server 的开发	网络版城市火灾风险区划信息系统

第一步,在城市火灾风险区划 GIS 应用框架下,利用 GIS 的查询、拼接、提取、裁剪等基本操作,对基础空间数据进行数据处理,同时通过对 Attributes 建立相关字段,存贮统计或计算得出的属性数据,最终形成历史火灾危险性分析变量层数据集、火灾原因变量层数据集、危险源数据集、自然及社会环境数据集、消防实力数据集、消防基础设施数据集、消防社会化程度数据集等,并以此数据材料为建立模型及区划研究的基础数据;第二步,利用影响因子图层叠加的方法确定研究单元;第三步,利用 GIS 图解建模功能建立指标层计算模型,通过脚本编写,实现模型的循环运行,从而实现指数层、系统层、目标层计算模型的建立,通过运行模型,完成抚州市城市火灾风险区划专题数据的生成;第四步,建立抚州市城市火灾成果数据专题数据库,并可通过基于 GIS 的二次开发,建立基于 GIS 的城市火灾风险区划信息系统(简称“GIS—UFR-RIS”),实现抚州市城市火灾风险区划数据可视化。

通过 VBA 编程及 ModelBuilding 图解建模完成城市火灾风险区划综合模型(UFRRCM)、致灾因子危险性指数计算模型、受灾体脆弱性指数计算模型、孕灾环境敏感性指数计算模型、抗灾力量有效性指数模型等与 GIS 的集成。

以 GIS 与致灾因子危险性指数计算模型的集成为

例。致灾因子又称为灾变因子,主要反映了灾害本身的危险性程度,一般可以通过历史火灾数据和起火原因体现出来。历史火灾数据主要需要每万人口火灾发生频率、每十万人人口火灾死亡率、每万元国内生产总值火灾直接损失额等数据,起火原因主要包括电器火灾、用火不慎、违反操作规定和其他原因等。按照致灾因子危险性指数相关模型计算因子指标值;根据各个统计点的位置形成点层矢量文件,将其中一个因子统计数据作为站点矢量文件的属性数据,按 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 的分辨率对各点采用反距离权重法插值,并进行分类赋值,得到影响因子图层 D_1 。按照以上方法依次形成致灾因子图层 D_i (i 代表第 i 个影响因子)。将 i 个影响因子图层进行叠加运算,得到各栅格的危险性指数 D 。将以上流程在 Model-Building 中进行定制,并利用 VBScript 对重复性操作进行脚本编写,完成致灾因子危险性指数计算模型在 GIS 中的集成。具体步骤如下:

(1)建立概念模型。目标:通过单一处理工具模型,分别建立历史火灾危险性分析计算模型、火灾原因统计分析模型;通过重复操作单一工具模型,建立致灾因子危险性指数计算模型。

基本方法:通过 LayerProperties 中 Quantities 中 Fields|value 值及 Normalization 值的选择,建立变量层模型;再运用空间分析的代数运算及叠置分析的反复利用,完成指标层、指数层、系统层、目标层的模型建立。

涉及的参数和变量:因子权重值。

输入数据:研究区研究单元每万人口火灾发生率专题矢量图、研究区研究单元每十万人人口火灾死亡率专题矢量图、研究区研究单元每万元国内生产总值火灾直接损失额专题矢量图、研究区研究单元电器火灾所占比例专题矢量图、研究区研究单元用火不慎所占比例专题矢量图、研究区研究单元违反操作规定所占比例专题矢量图、研究区研究单元其他火灾原因所占比例专题矢量图。

(2)形成图解模型。导入矢量变量层数据,通过 Conversion Tools 转换为栅格数据,运用 Spatial Analyst 下的 Raster Calculator 进行栅格数据代数运算,得到并输出研究单元指标层数据,通过对不同阈值区间的数据提取,输出指标层分级专题数据;按公式算法重复以上步骤得到研究单元指数层数据,通过对不同阈值区间的数据提取,输出指数层分级专题数据。

(3)操作步骤。启动 ArcToolbox,建立 Model,命名为 Dclass,并应用 Create Variable 命令设置数据类型为 Polygon。选择 ArcToolbox 中的工具,依次加入到模型编辑器中,它们分别是:Analysis Tools 中 Overlay 命令下的 Union,Conversion Tools 中 To Raster 命令下的 Polygon to Raster 工具,Statistics 中的 Summary Statistics,

Spatial Analyst Tools 工具集中的 Raster Creation 命令下的 Create Normal Raster 工具。按照数据流的先后顺序,连接相应图形要素,同时设置 Polygon、Output Raster feature 和 Input Polygon 为参数模型。

重复以上步骤完成变量层到指标层、指标层到指数层计算的模型连接。

(4)验证模型。以城市火灾致灾因子 7 层变量层指标矢量数据为输入数据。双击 Dclass 模型,弹出对话框,设置输入数据、输出路径和阈值的大小,单击 OK 按钮完成模型的运行。在 ArcMap 中打开生成的专题数据,分析结果是否满意,如果对结果不满意,则需要对模型进行调整。

(5)运行和使用模型。经过模型验证并对模型结果满意后,即可运行此模型实现致灾因子危险性指数计算及专题图的生成。

以同样方式可以实现受灾体脆弱性指数计算模型 Vclass、孕灾环境敏感性指数计算模型 Sclass、抗灾力量有效性指数计算模型 Eclass 在 GIS 的集成。同理,通过图解模型的建立实现模型的算法,以 Dclass 模型、Vclass 模型、Sclass 模型及 Eclass 的输出数据为输入数据,建立城市火灾风险区划综合模型(UFRRCM)。

抚州市城市火灾风险区划研究中 GIS 应用的部分实例及区划成果专题图,见图 2 所示。

按照 GIS 城市火灾风险性评价中的应用框架,结合 GIS 相关功能支持,建立基于 GIS 的抚州市城市火灾风险区划研究流程及步骤,见图 3 所示。

按照 GIS 在城市火灾风险区划的应用框架,以抚州市城市火灾风险区划为应用实例,对数据处理、基础数据库建设及研究区域划分、城市火灾风险区划划分及成果数据可视化表达的实现进行了实际操作。在城市火灾风险区划划分中,将统计数据输出为专题数据,通过 GIS 的缓冲区分析、叠加分析等生成专题数据,通过对专题数据的参考,一方面增加了专家打分的精确度和可靠度,另一方面,解决了部分数据缺失的弊端,灵活运用 GIS 相关模型和功能,可由一套数据派生出所需要的诸多专题数据,从而丰富了城市火灾风险区划研究的数据集。

3 总 结

通过全面的指标体系建设,从变量层数据的获取、分析、计算等各个层次进行 GIS 功能的挖掘,最终建立了一套适合城市火灾风险区划研究的 GIS 功能框架。这个功能框架的建立,明确了城市火灾风险区划研究中各环节可由 GIS 实现的功能,明晰了城市火灾风险区划研究中的数据获取、数据处理、数据生成、专题数据输出的步骤。

GIS 在城市火灾风险区划中的应用,不仅扩展了指标计算所需源数据的范围,使得可用数据更加丰富,同

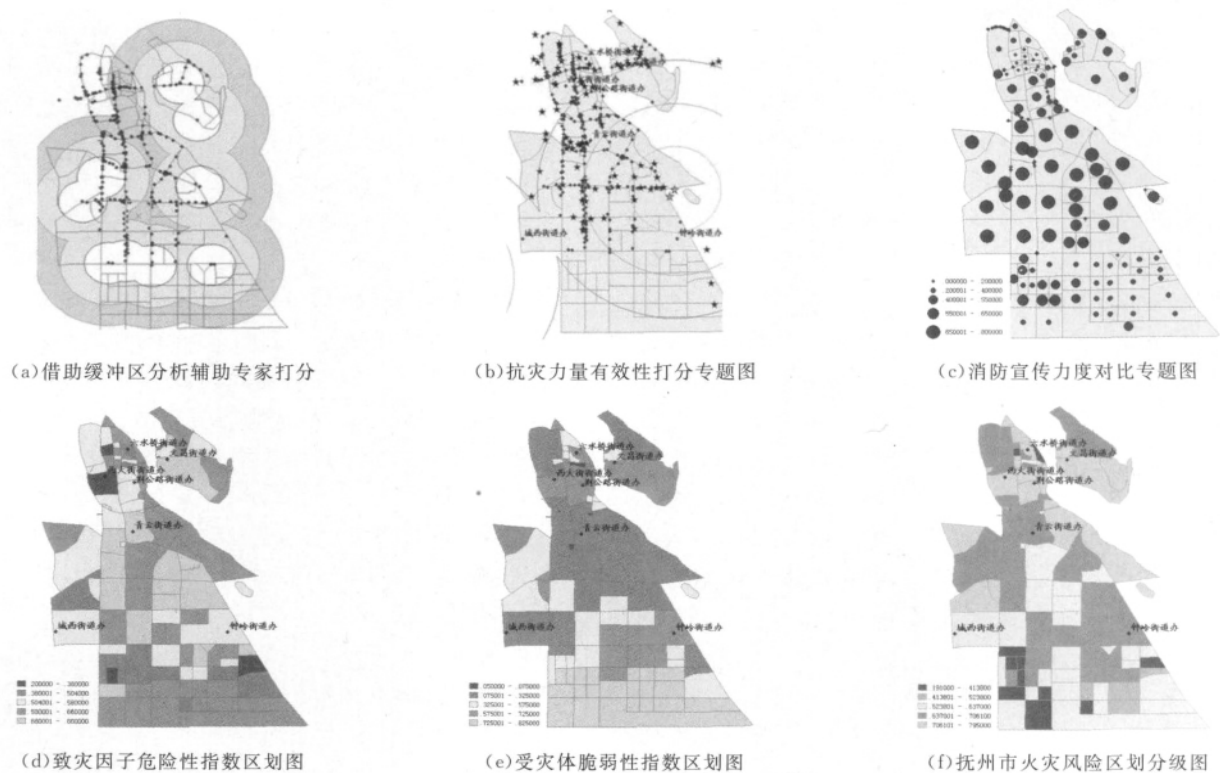


图 2 城市火灾风险区划的 GIS 应用成果图

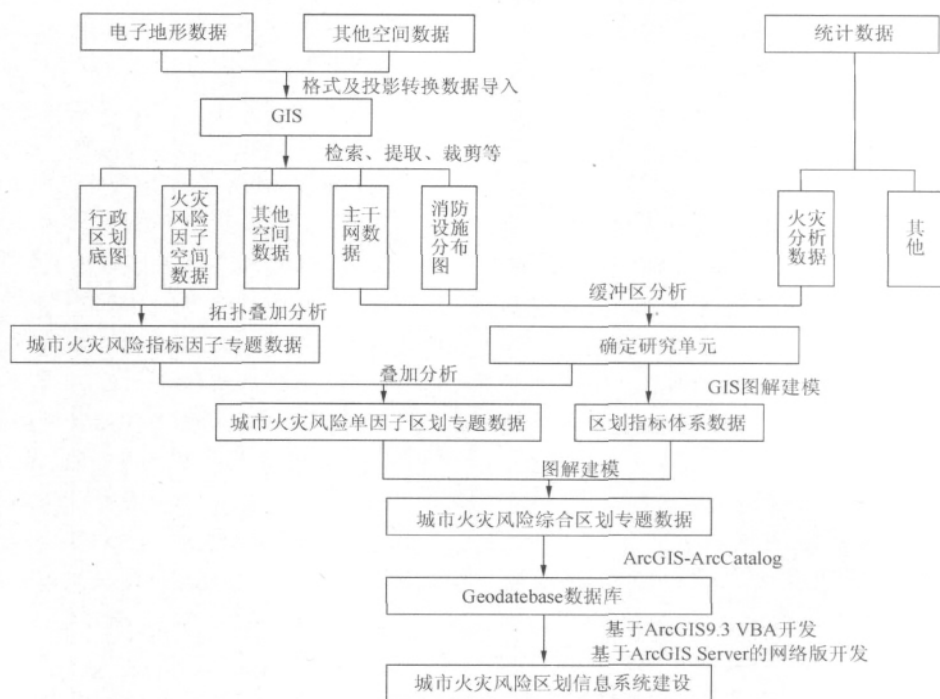


图 3 基于 GIS 的城市火灾风险性区划研究的流程及步骤

时,通过专题数据辅助专家打分及 GIS 模型的应用等,提高了城市火灾风险区划过程的计算精度和效率。通过基于 GIS 的信息系统二次开发,可实现城市火灾风险区划数据的实时更新、可视化表达和数据共享,延伸了城市火灾风险区划的应用范围。

总之,在 GIS 应用框架下进行城市火灾区划,可获取

比传统火灾风险区划更丰富的源数据。样本的增加,提高了城市火灾风险区划成果的精度和可靠性,利用 GIS 模型进行区划过程的模块化建设,提高了城市火灾风险区划的规范化水平和效率,基于 GIS 的数据管理将源数据、成果数据进行有机融合,灵活、实时的数据管理机制,为进一步的城市火灾区划研究提供了基础数据。

地铁火灾人员心理分析与疏散措施

商红松, 李经明

(贵州省消防总队, 贵州 贵阳 550014)

摘要:总结地铁火灾特点和地铁火灾中人的心理对人员疏散行为的影响,分析从火灾发生到疏散结束各时间段的疏散行为,着重讨论人员疏散行动的应急预案,揭示地铁火灾人员心理特征的疏散技术和方法,为科学防灾、减灾提出对策。

关键词:地铁火灾; 人员心理; 安全疏散; 消防

中图分类号:X911, TU998.1, U231.96 **文献标志码:**B

文章编号:1009-0029(2012)11-1237-04

地铁作为城市公交运输的主干线和客流运送的大动脉,承担着大客流运输任务,是人流密集且空间有限的公众聚集场所,是运量大、速度高、能耗低、污染小的“绿色交通”,对实现城市可持续发展具有重要意义。但一旦发生火灾,人员安全及疏散问题十分严峻,社会影响十分巨大。从1903年法国巴黎地铁火灾造成84人死亡,到2003年韩国大丘市地铁火灾造成135人死亡,一组组惊心动魄的数据和惨痛的教训给人们敲响了警钟——人员心理及行为严重影响疏散动作时间和疏散效率,这对于挽救人员的生命显得尤为重要。

1 地铁火灾事故特点

(1)“活塞效应”产生强大的不稳定逆转载流,使火灾危险性加大。当列车高速在隧道内往返行驶时,相对封闭的隧道空间使高速运转的列车形成强大气流,会让地面空气通过隧道上方的通风排气孔,形成上下抽动式的“活塞效应”。“活塞效应”产生的强大不稳定逆转载流会

加大火灾燃烧与蔓延,使火灾危险性增大。如1987年英国伦敦国王十字街发生的地铁火灾事故,就是由于列车行驶引起的活塞风作用以及圆筒状自动扶梯的通风作用,致使大火越烧越烈,人们争先恐后地冲向出口,多人被烧、压、窒息而死。

(2)跳跃性蔓延和轰燃给逃生和灭火带来极大危险。由于隧道内空气不足,火灾时可燃物主要是不完全燃烧,产生的CO等不完全燃烧产物随高温烟气流动,当有新鲜空气补充并遇到新的可燃物时,即会引发新的燃烧,从而出现火灾从一节车厢跳跃到另一节车厢的跳跃式蔓延。另外,地铁独特的建筑形式使得空间封闭性强,可燃物排烟、排热性差,阴燃时间较长,发烟量较大。火灾一旦发生,热烟很难排出,内部空间温度上升较快,空气体积膨胀,压力增加,热烟气流积聚,极易出现轰燃。据测试,一般轰燃时间为起火后5~7 min。如1987年伦敦地铁火灾,就是在起火后6 min发生了轰燃,导致32人丧生,100多人受伤,给疏散和灭火带来了极大危险。地铁系统中人员只有在轰燃前撤离才能确保安全。

(3)高温烟气难以排出,极易造成群死群伤事故。地铁车站和隧道内由于空气流动慢、通风条件差,火灾时易缺氧而造成火焰燃烧不完全,产生大量有毒烟雾,且无法及时从通风竖井排出。此外,地铁口部还存在“吸风”效应,地铁内的浓烟很难向地面扩散。这时,即使火势不大,燃烧产生的浓烟也会使隧道变成烟雾通道,迅速在隧

参考文献:

- [1] Brian Siler, Jeff Spotted. Visual Basic 6 开发使用手册[M]. 北京:机械工业出版社, 1999.
- [2] 刘钊, 程锦, 张远智. 基于GIS的城市火灾信息管理与分析系统[J]. 灾害学, 2000, (1): 12-16.
- [3] 汤国安. ArcGIS地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社, 2005.

GIS application framework of urban fire risk regionalization

ZHANG Chang-wen¹, XIA Cheng-hua²,
ZHONG Shao-bo³

(1. Fuzhou Fire Detachment, Jiangxi Fuzhou 344000, China; 2. Institute of Public Safety, Department of Engineering

Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Combining the urban fire risk regionalization and GIS, the urban fire risk regionalization index system was built, and the formulas calculating the index were introduced. The urban fire risk regionalization steps were described. The GIS application framework of urban fire risk regionalization was built. Taking Fuzhou in Jiangxi Province as an example, apply the GIS in urban fire risk regionalization, and introduce in details the process and results.

Key words: urban fire; risk regionalization; GIS

作者简介: 张昌文(1971—), 男, 江西宁冈人, 抚州市消防支队防火监督处处长, 工程师, 学士, 主要从事消防监督管理及火灾风险评估等工作, 江西省抚州市临川区文昌大道, 344000.

收稿日期: 2012-06-05