

城市重大危险源区域风险评价研究

翁 韬¹, 朱霖平¹, 麻名更², 廖光焯¹, 吴宗之³

(1. 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室, 合肥 230026; 2. 科技部农村与社会发展司, 北京 100026; 3. 中国安全生产科学研究院, 北京 100029)

[摘要] 旨在以城市重大危险源为主体对象研究出一套科学有效的风险评价方法。通过拓展城市重大危险源的评价技术, 提出安全等级“层级叠加”原理, 将单独评价拓展为相关耦合评价。研究了城市区域性重大事故风险评价技术及量化方法, 以城市地理和城市资源为平台, 分析各类灾害发生的可能性, 确定种类灾害相对于城市的安全等级, 并将其以一定的比例相关系数进行叠加, 得到城市安全的综合且近似于实际的安全“图谱”, 并综合人口密度分布建立社会风险评价指标, 从而对城市危险源进行综合安全规划, 并以试点城市为例给出可视化的城市安全等级划分结果。研究工作成果可为相关研究提供参考, 为城市安全规划管理提供科学的决策依据, 同时对提高我国城市区域性风险评价技术水平, 有效预防和控制火灾、爆炸、毒物泄漏等重大恶性事故的发生等方面具有重要意义。

[关键词] 重大危险源; 风险评价; 层级叠加; 安全等级; GIS

[中图分类号] P928; TP392 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)09-0080-05

我国工业化进程起步较晚, 落后于西方发达国家, 且受多种历史原因的影响, 城市建设缺少科学规划, 布局缺少层次, 功能分区不明显, 历史悠久的老城市问题尤为突出。随着城市化高速发展, 由此带来的城市安全与环境问题日益突出, 成为制约我国社会和经济可持续发展的主要问题之一^[1]。

城市安全问题已引起我国各级政府和全社会的高度重视。国家曾于“八五”、“九五”期间, 开展了重大工业事故危险源的辨识与评价技术研究, 初步提出了重大工业事故危险源的辨识与评价的理论及方法^[2,3]。但前一阶段的研究还仅仅停留在单个危险源的定性和定量辨识与评价上, 如定性定量分析易燃、易爆、有毒等危险源的常态及危险临界状态阈值, 从而给出安全等级。对危险源之间以及危险源与周围环境的相互作用没有开展耦合研究。在实际事故中往往由环境(其他危险源、气候、建筑格局、人员疏密、财产集中度)等相互影响决定事故危害的程度和损失的大小。

根据对历史事故分析的经验及我国的行政管理以城市为主体单元的特点, 以城市为主体对象开展安全评价与等级划分的研究, 十分必要也符合发展趋势, 有助于更加准确地描述“危险源”, 建立更准确的事故扩散模型, 以及合理地调配资源, 制定适宜的应急反应预案。做到科学防灾、减灾、救灾。

1 城市重大危险源评价方法

城市危险源评价的方法一般有3种: 安全距离法、基于后果的方法和基于风险的方法。其中, 安全距离法和基于后果的方法虽然简单, 但用于规划的依据仅仅是距离指标, 比较适用于单一危险源周边的安全规划, 不适用于进行大范围的整体的安全规划, 而基于风险的方法将各种不同类型的危险均转化成相同的指标——死亡率, 因此更适用于大规模的整体安全规划^[4,5]。

从目前国内外的研究现状看, 定量风险评价

[收稿日期] 2005-04-28; **修回日期** 2005-09-14;

[基金项目] “十五”国家科技攻关计划资助项目(2001BA803B01-02-01)

[作者简介] 翁 韬(1980-), 男, 四川资阳市人, 中国科学技术大学博士研究生

(QRA) 技术日益得到重视并不断完善。该评价技术综合考虑事故发生的期望概率和后果, 能够提供风险水平的绝对值, 并给出风险等值线, 特别适用于一旦发生事故会产生严重后果的复杂系统, 已广泛应用于工作场所的危险、危险物质的运输和环境中有毒物质的浓度的评价等。可以认为, 进行城市风险评价的最好的可用风险评价技术就是全面的 QRA 技术。

此外, 地理信息系统 (GIS) 经过近 40 年的发展, 已经成为一种成熟的空间数据处理技术和方法, 该技术集计算机科学、信息科学、现代地理学、遥感测绘学、城市科学、空间科学、管理科学和现代通讯技术于一体, 既具有空间数据管理功能, 又具有空间图形的处理功能。目前, GIS 在危险源管理、风险绘制、土地规划、应急救援等方面的显示出了明显的优越性^[6]。

为此, 在综合国内外风险评价技术研究现状的基础上, 提出研究城市区域性风险评价关键技术的解决方案: 以安全等级“层级叠加”原理拓展定量风险评价技术, 结合地理信息系统在空间数据和图形处理方面的优势, 在 GIS 电子地图上给出直观的结果。

2 城市重大危险源区域危险评价

影响城市安全的因素有很多, 如城市内重大危险源的数量及种类、城市中区域人口与财富的密度、城市救援力量的水平等^[7-9]。作者从上述 3 个主要因素入手进行研究, 在讨论划分城市区域危险等级时采取“三面分析, 层层叠加”的原则, 即分别从危险源、受害对象和救援力量入手, 确定单层安全等级, 然后将其进行层级加权叠加。初期对一种或几种情况进行考虑分析, 得到一层或几层的安全图示; 同时开放系统资源, 预留数据接口, 随着研究深入, 条件成熟, 再植入其他事故及灾害分析数据, 层层叠加, 最后得到城市安全的等级划分示图。

2.1 区域风险评价的总体框架及总体原则

根据个人风险和社会风险计算的基本原理, 区域风险评价的总体框架如图 1 所示。

城市区域重大事故定量风险评价计算过程需要 3 个方面的数据作为数据输入的来源, 分别为城市重大危险源数据、气象条件数据和人口统计数据。

为了简化研究, 作者提出城市区域重大危险源

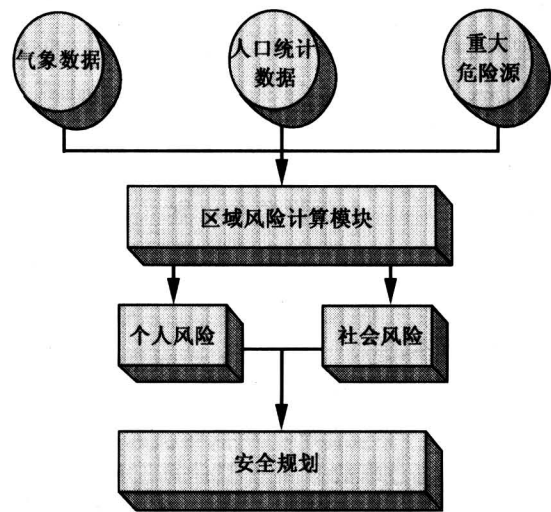


图 1 区域风险评价的总体框架

Fig.1 Framework of regional assessment of risk

风险评价的总体原则为: 评价以获得区域的个人风险等值线和社会风险曲线的定量结果, 为城市安全规划提供量化依据为目标; 评价过程只考虑外部安全, 不考虑内部安全; 事故类型主要考虑火灾、爆炸和毒物泄漏及扩散; 事故后果主要考虑人员的伤亡情况, 不考虑财产损失和环境破坏的损失; 评价的对象主要集中于固定的危险设施; 危险物质的公路、铁路和内河运输以及管道输送等不在考虑之列; 评价过程忽略个人风险小于 10^{-9} 的情况。

2.2 区域性重大事故定量风险评价方法

城市区域重大事故定量风险评价方法是在重大危险源辨识的基础上, 以系统事故风险率来表示危险性大小。在城市重大危险源安全规划中, 用 QRA 技术确定风险, 采用个人风险和社会风险作为风险指标参数, 按照个人风险和社会风险的可接受标准作为重大危险源规划和整治的基础。

城市是一个地理上广阔的复杂区域, 危险源种类繁多、分布不均, 因此为方便起见, 以空间地理坐标为基础, 将城市的广阔区域划分为等间隔的网格区, 即用一笛卡尔坐标体系的网格覆盖城市的区域地图, 这样处理将为城市区域风险评价带来极大的方便, 并且正好符合 GIS 系统的栅格处理功能。这构成了城市区域定量风险评价的基础。

风险为特定事故的可能性和后果的乘积。对于城市重大危险源, 事故的可能性为危险源某一事故情景发生的概率, 时间的跨度为 1 年, 单位为次/年; 事故的后果仅考虑对人员的影响, 只保留死亡

的情况,不考虑受伤、财产损失和环境的破坏。对于区域内的任一危险源,其对区域内某一空间地理坐标为 (x, y) 处产生的个人风险由下式计算:

$$R(x, y) = \sum_{s=1}^N f_s v_s(x, y) \quad (1)$$

式中: $R(x, y)$ 为危险源在位置 (x, y) 处产生的个人风险; f_s 为第 S 个事故情景发生的概率; $v_s(x, y)$ 为由第 S 个事故情景在位置 (x, y) 处引起个体死亡的概率。

f_s 可由危险源顶事件发生的概率和通过事件树得到的可能事故情景发生的概率的乘积得到。 $v_s(x, y)$ 可先通过事故后果模型计算出事故情景在位置 (x, y) 处产生的热辐射通量、超压值或毒物浓度数值,然后通过相应的函数转化为引起个体死亡的概率。

如果事故情景的评价结果与风向有关,并且风在影响区域内的分布不均匀,则需采用如下过程。如果事故在危险源区域点 S 处引起空气气体悬浮物的频率为 f_s ,那么这一情景 S 对点 $P(x, y)$ 处位置风险的贡献 $R_{S \rightarrow P}$ 可以用如下通用方程表示:

$$R_{S \rightarrow P} = S_s \int_{-\pi}^{+\pi} v_s(\theta') p(\theta) d\theta' \quad (2)$$

其中, $\theta = \theta' + \theta_{S \rightarrow P}$, $\theta_{S \rightarrow P}$ 为线段 $S - P$ 与风向风力基准线之间的角度, $p(\theta) d\theta'$ 为风向位于 θ 和 $\theta + d\theta'$ 之间事故情景的条件概率。概率分布 $p(\theta)$ 可以简单地通过采用幅角 θ_{sec} 的方法细分风玫瑰图的概率得到。

社会风险是指能够引起大于等于 N 人基准损失的所有不同类型危险源(与个人风险中考虑的条件相同)发生事故的累积频率(F)。社会风险也即单位时间内的死亡人数。

某种意义上,社会风险与位置无关,而是与周围人口密度相结合的危险活动风险的量度,因此如果没有人员出现在危险活动的现场,则社会风险为零,而个人风险值可能较高。

对于区域内某一空间地理坐标 (x, y) 处,其社会风险可用下式来计算:

$$R_{social}(x, y) = \rho_{people} R(x, y) \quad (3)$$

式中: $R_{social}(x, y)$ 为区域内空间地理坐标 (x, y) 处的社会风险度; ρ_{people} 为该区域的人口密度。

社会风险的计算基于如下假设:网格内的人口都被假想地集中于网格的中心。这样,将上述计算得到的每一网格中心的个人风险同人口数字相乘即

可得到期望的死亡人数(社会风险度)。通过不同死亡人数与累积频率作图即得到区域社会风险的曲线($F - N$ 曲线)。需注意的是,网格的大小决定了计算的时间和精度,网格小则精度高,但计算耗时。通常情况下可选取 $25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$, $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$, $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$, $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 等,在可能的情况下尽量放小。作者初步确定网格大小为 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 。

在通过城市区域定量风险评价技术确定城市不同区域风险水平之后,个人风险和社会风险的容许标准就成为安全规划决策的重要依据。在任何情况下,ALARA (risk as low as reasonably achievable) 原则适用于危险活动。只要风险的水平还能够合理地达到,降低危险源风险的措施就应该一直被采用。从ALARA的角度看,如果安全措施的成本非常高,那么将被认为是不合理的。

个人风险容许标准用于保护暴露于危险的个人,而社会风险容许标准着重于降低社会面临重大事故的风险。

2.3 单层安全等级评定

所谓单层评定即只考虑一种危险源,或一种受害对象在城市中分布而得出的城市安全等级划分。考虑到后面层级叠加的需要,单层等级划分级别小于总体等级级别划分为宜,少数情况下可以等于总体等级级别划分,但绝对不能超过。以易爆危险品仓储为例,将市内所有易爆危险品加以普查分类,结合量能储备量、使用年限,再根据爆炸及全泄露扩散模型定出危险级别,灾害事故模型,在城市GIS基础上,生成一张只含易爆危险品的城市安全等级图。城市中某一地理位置点的安全等级,由所有相关危险源发生险情作用到该点上的加权叠加而得到。再从受害对象出发,以城市人口分布为例,可根据具体情况给出不同基准单位,如人/百平方米或人/千平方米定量描绘出城市人口分布,可理解为人员密集的地方安全等级低,人口越密集,安全等级越低,表1给出了作者初步给出的等级划分原则,共分5个级别。并可在GIS基础上生成另一张城市安全等级分布图。

2.4 层级安全等级叠加

层级安全等级叠加是指在城市GIS这一基层平台上,将单层安全等级划分图进行叠加,得到更加复杂且更接近实际的城市安全等级图。

叠加是一个复杂的数学过程,显然,最简单的

表 1 等级划分原则

Table 1 Partition principle of grade

人口密度/人·km ⁻²	级 别	颜色表示
> 1 000	5	深色
700 ~ 1 000	4	较深色
400 ~ 700	3	中等色
100 ~ 400	2	较浅色
< 100	1	浅色

方法是算术叠加，其结果必然是单层等级高的区域经叠加后等级会保持不变或增加。这里将忽略积极因素的正面作用，如地域内救援力量配置、畅通的交通均会降低该区域的风险等级。因此，考虑到多种因素的相互作用，存在正作用和反作用，或不相关性，叠加时应进行加权处理，加权系数的确定将直接影响系统的正确性和准确性。在研究初始阶段，加权系数根据历史经验设定，并在实验过程中反复调整，达到最佳。

基于这一叠加的原理，作者在进行城市区域个人风险评价时，先针对单个危险源按照式 (1) 分别计算，生成单个危险源个人风险图层，再按照图 2 所示方法对单个危险源个人风险图层的风险值进行叠加，最终生成综合的多危险源个人风险曲线图层；城市社会风险的评价与此类似，在进行人口密度的叠加时会出现反作用的情况，即个人风险高的区域其社会风险不一定高。叠加的网格如图 2 所示。

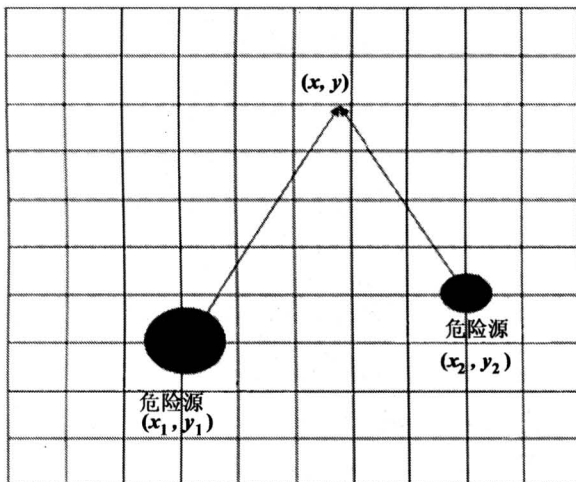


图 2 风险评价叠加网格示意图

Fig.2 Sketch map of gridding of regional assessment of risk

3 城市重大危险源区域危险评价实例

针对试点城市进行了验证性试验，利用 COM (+) 技术，采用组件式 GIS 开发软件 SuperMap 提供的控件，在 Visual C++ 6.0 环境下开发了定量风险评价软件^[10,11]。

选取示范城市某区域，有 3 个危险源：合作化路液化气储罐、五里墩加油站和一个危险品仓库。根据危险源辨识与评价方法，分别计算出 3 个危险源单独作用下的个人风险等值曲线，图 3 给出了其中一个危险源的个人风险等值曲线。将 3 个危险源的个人风险值进行叠加后，得到了如图 4 所示的叠加的个人风险等值曲线。图中个人风险高的其等值线用深色曲线表示，风险较低的用浅色表示。

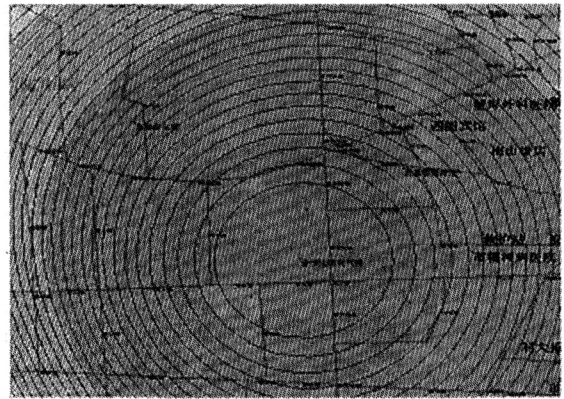


图 3 单个危险源危险等值线

Fig.3 Isoline of risk of single hazard

社会风险曲线不仅与个人风险有关，还与不同地区的人口密度有很大关系。因此首先假定了市区的人口密度，根据表 1，深色区域代表人口密度

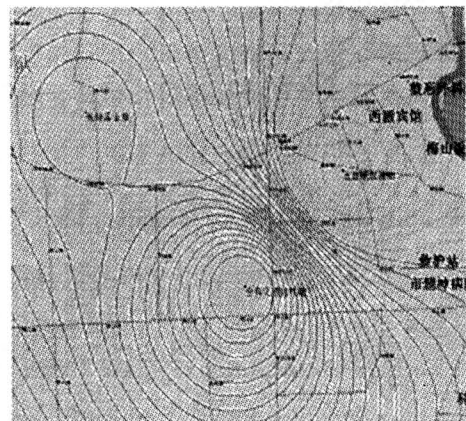


图 4 3 个危险源共同作用下的个人风险等值曲线

Fig.4 Isoline of individual risk of three hazards

>1 000的区域,其余的颜色类推。

将人口密度和前面计算出来的个人风险等值曲线结合起来,就得到了如图5所示的局部地区社会风险分布区域。图中白色区域表明是高风险区域,灰色区域次之,黑色区域危险性最低。可以看出在合作化路液化气储罐周围,人口密度高的社区(东南)社会风险高(白色);人口密度低的社区(西北)社会风险相对较低(灰色)。加油站周围的个人风险比危险品仓库低,但是,它附近北侧的高人口密度区域的社会风险(白色)明显高于危险品仓库东侧的区域(黑色)。

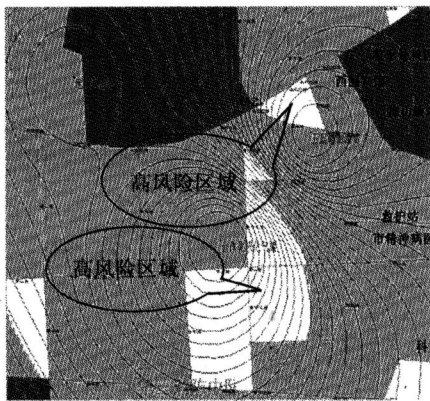


图5 城市区域社会风险等级划分

Fig.5 Partition of grade of social risk of urban district

在个人风险和社会风险分布图基础上,可以直观的给出城市的区域安全规划。

4 结语

利用城市重大危险源的风险地图分析的方法来研究城市区域风险的评价,提出了安全等级“层级叠加”原理和综合人口密度分布的社会风险评价指标,以此对定量风险评价技术进行拓展,通过与地

理信息系统在空间数据和图形处理方面的优势进行结合,进一步实现了评价技术的可视化,对于提高我国城市区域性风险评价技术水平,有效预防和控制火灾、爆炸、毒物泄漏等重大恶性事故的发生,增强城市重大事故应急救援能力,为城市安全管理提供科学的决策依据等方面具有重要意义。

参考文献

- [1] 吴宗之. 重大危险源控制技术研究现状及若干问题探讨[J]. 中国安全科学学报. 1994, 4(2): 17~22
- [2] 劳动保护科学研究所,等.“八五”国家科技攻关课题《重大危险源的评价和宏观控制技术研究》鉴定材料[Z]. 北京: 劳动部劳动保护科学研究所, 1996
- [3] 安全科学技术研究中心,等.“九五”国家科技攻关课题《重大工业火灾、爆炸、毒物泄漏事故分析模拟技术》鉴定材料[Z]. 北京: 国家经贸委安全科学技术研究中心, 2000
- [4] 吴宗之,高进东. 危险评价方法与应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001
- [5] 国家安全生产监督管理局. 安全评价[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002
- [6] 陈述彭. 城市化与城市地理信息系统[M]. 北京: 科学出版社, 1999
- [7] Health & Safety Commission. Advisory Committee on Major Hazards, First Report [R]. London: Health & Safety Commission, 1976
- [8] Health & Safety Commission. Advisory Committee on Major Hazards, Second Report [R]. London: Health & Safety Commission, 1979
- [9] Health & Safety Commission. Advisory Committee on Major Hazards, Third Report, The Control of Major Hazards [R]. London: Health & Safety Commission, 1984
- [10] 李峻. GIS决策支持可视化的研究[D]. 武汉: 武汉大学博士论文, 2001
- [11] GPS/GIS applications for emergency response [J]. Public Works. 1994, .125(10): 96~100

A Study on Regional Assessment of Risk of Urban Major Hazard

Weng Tao¹, Zhu Jiping¹, Ma Minggeng², Liao Guangxuan¹, Wu Zongzhi³

(1. State Key Laboratory of Fire Science, USTC, Hefei 230026, China; 2. The Countryside & Social Development Department of the Ministry of Science and Technology, Beijing 100026, China; 3. China Academy of Safety Sciences and Technology, Beijing 100029, China)

[Abstract] The purpose of the article is to regard city as the object and work out a set of methods of assessment of risk. The improved technology of assessment of risk for urban major hazards and the method of

(cont. on p.89)

- [7] Hetherington J G, Rajagopalan B P. Correspondence on an investigation into the energy absorbed during ballistic perforation of composite armors [J]. *Int J Impact Eng*, 1992, 12(2): 325 ~ 327
- [8] Hetherington J G. Energy and momentum changes during ballistic perforation [J]. *Int J Impact Eng*, 1996, 18(3): 319 ~ 337
- [9] Florence A L. Interaction of projectiles and composite armor, Part 2 [R]. Stanford Research Institute, Menlo Park, AMMRC - CR - 69 - 15, August 1969

The Influence of New Type of Integrated Armor on the Penetration Efficiency of EFP

Zhao Huiying, Shen Zhaowu

(*Department of Mechanics Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China*)

[Abstract] The principles implied in the process of EFP (explosively formed projectile) impacting the plate covered explosive and the ceramic composite armor have provided the evidence for calculating the residual velocity of EFP (explosive formed projectile) impacting a new integrated armor, and a calculation model has been induced. It is proved that although the integrated armor and the ceramic composite armor have the same facial density, the protective performance of integrated armor is better than the ceramic composite armor. This calculation model can be used in the design of integrated armor. Meanwhile, according to this model the goal of EFP resistance armor can be established.

[Key words] EFP; integrated armor; plate covered explosive; ceramic composite armor; residual velocity

(cont. from p.84)

quantization are studied. Principle of "level-superposed" of the grade of security is brought forward. Analyzing the possibility of all kinds of calamities to take place, confirming the grade of security relative to city of the kind calamity, and superposing its coefficient correlation in certain proportion, this paper gets the synthetical security atlas similar to the real one based on urban geography and urban resource. The evaluation index of social risk is set up based on the distributed comprehensive density of population, thus comprehensive safe planning to the dangerous source in the city can be carried on. At last, an example for providing the visual safe grade of city and the divided electronic map is given. The exploration work of this text can offer reference for relevant research work, which is also significant to improve the engineering level of urban assessment of risk, to prevent and control the emergence of great malignants accidents effectively such as fire, explosion, poisonous substance leakage, etc., and to offer the scientific decision basis for city safety management.

[Key words] major hazards; assessment of risk; level-superposed; grade of security; GIS