

区域定量风险评价方法及其在城市重大危险源安全规划中的应用

吴宗之, 多英全, 魏利军, 关 磊

(中国安全生产科学研究院, 北京 100029)

[摘要] 介绍了区域定量风险评价的基本原理和评价指标, 建立了基于网格差分风险计算模型, 给出了定量风险评价的程序, 开发了个人风险的计算软件, 提出了区域定量风险评价方法, 并在某油气库区风险评价与安全规划中实际应用。通过分析计算, 给出了该区域的个人风险等值线分布图和社会风险 ($F-N$) 曲线。结果表明, 由于该地区液化石油气储量大, 事故后果严重, 且库区离居民区较近, 周边企业较多, 人口密集, 使得个人风险和社会风险均超出了推荐标准的要求。该方法为进行城市重大危险源的安全规划提供了基础理论和技术方法, 对进行城市土地使用及其他灾害领域的安全规划具有指导意义。

[关键词] 风险评价; 安全规划; 重大危险源; 城市规划

[中图分类号] X913 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)04-0046-04

1 引言

近年来, 随着我国城市化和工业化进程不断加快, 城市中重大危险源数量不断增多, 且许多危险源由于城市扩张已经被人口稠密的居民区等民用设施所包围, 由此引发了严重的安全问题。例如, 2003年12月重庆开县天然气井喷事故, 造成243人因硫化氢中毒死亡, 6.5万人被紧急疏散。2004年4月重庆天原化工总厂液氯储罐爆炸事故, 造成9人死亡, 15万人紧急疏散。这些事故之所以造成严重的后果, 与这些重大危险源的选址、布局不合理, 与民用设施安全距离严重不足密切相关, 同时也凸显了目前我国在城市规划和土地使用规划中关于安全规划的研究与应用的严重欠缺和不足^[1]。

发达国家从上世纪70年代开始研究土地使用安全规划问题, 并取得了良好的应用效果。目前, 欧盟、美国、加拿大、澳大利亚等主要采用“基于后果”和“基于风险”的两种评价方法支持土地使

用规划的决策。“基于后果”法是基于对假定事故后果的评估, 以事故后果物理量的阈值作为规划依据, 不考虑事故的可能性。“基于风险”法综合评估潜在事故后果的严重度和可能性, 以个人和社会风险作为规划依据, 在风险分析方面更全面。定量风险评价方法自1974年拉姆逊教授(Rasmussen)评价美国民用核电站的安全性以后得到了广泛应用。1978年英国进行的坎威岛(Canvey Island)研究项目^[2]、1979年荷兰进行的雷几蒙德(Rijnmond)研究项目以及意大利开展的Ravenna研究计划中^[3,4], 都将定量风险评价方法应用于化工区的整体风险评估与安全规划中。定量风险评价在风险管理、应急救援、土地使用安全规划, 以及保险业中都具有重要的实用价值^[5,6]。

目前, 我国在区域定量风险评价、城市重大危险源安全规划方面的研究较少, 将两者结合应用则更鲜见报道, 同发达国家相比存在较大差距。为此, 笔者在国家“十五”科技攻关期间^[7], 开展了

[收稿日期] 2005-09-09

[基金项目] 国家“十五”科技攻关资助项目(2001BA803B01-01)

[作者简介] 吴宗之(1963-), 安徽宿松县人, 中国安全生产科学研究院研究员, 博士生导师, 研究方向: 风险评价、重大危险源监控、事故应急

基于区域定量风险评价的城市重大危险源安全规划研究。这对丰富安全科学和城市规划科学的内容，有效预防重大事故的发生具有重要的理论价值和实际意义。

2 区域定量风险评价方法

2.1 区域定量风险评价的指标

区域定量风险评价的核心是评价区域内个人风险和社会风险。个人风险是指区域内的不同危险源产生在区域内某一固定位置的人员的个体死亡概率。个人风险体现为区域地理图上的风险等值线(如图 1 所示)。社会风险为能够引起大于等于 N 人死亡的所有不同危险源的事故累积频率 (F)。社会风险与区域内的人口密度密切相关，用社会风险曲线 ($F - N$ 曲线) 表示(如图 2 所示)。



图 1 个人风险等值线示意图

Fig.1 Example of curves for individual risk

2.2 区域定量风险评价的模型

对于区域内的任一危险源，其在区域内某一空间地理坐标为 (x, y) 处产生的个人风险可由下式计算：

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

式中， $R(x, y)$ 为该危险源在位置 (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， N 为事故情景的个数。

其中， f_s 通过事件树分析得到； $v_s(x, y)$ 通过

事故后果模型计算出事故情景 s 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。

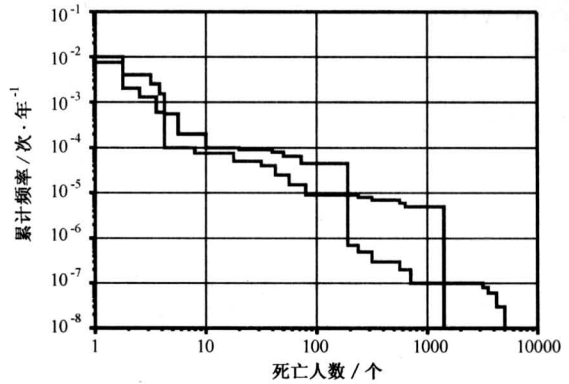


图 2 社会风险曲线 ($F - N$ 曲线)

Fig.2 Example of curves for social risk

区域内所有危险源在点 (x, y) 处叠加产生的个人风险通过划分网格的方法得到(如图 3 所示)。首先，将评价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区域地图。然后，计算区域内每一危险源对每一网格中心产生的个人风险，叠加得到每一网格中心总的个人风险。任意点 (x, y) 处的个人风险，通过将网格中心个人风险的离散结果进行内插得到。最后将个人风险值相等的点连接起来，便得到区域内不同水平个人风险的等值线。

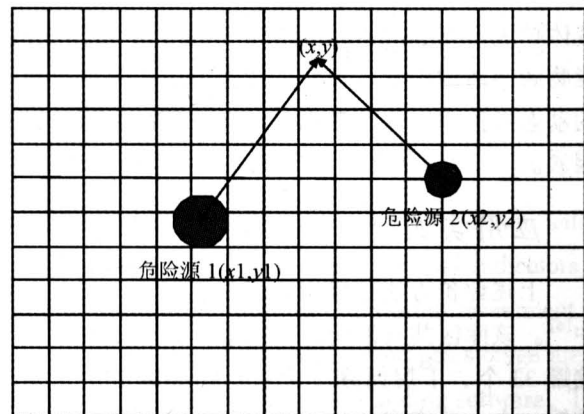


图 3 区域定量风险评价网格示意图

Fig.3 Sketch map of grid for quantitative area risk assessment

社会风险的计算基于如下假设：假定网格内的人口都集中于网格中心。这样，将个人风险计算结果与人口数字相乘即得到预测的死亡人数。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)。

2.3 定量风险评价的程序

区域定量风险评价的程序如图 4 所示。通过评

价得到区域的不同水平个人风险的等值线以及社会风险 F-N 曲线, 然后与该地区的个人风险和社会风险容许标准相比较, 即可进行该地区的安全规划。

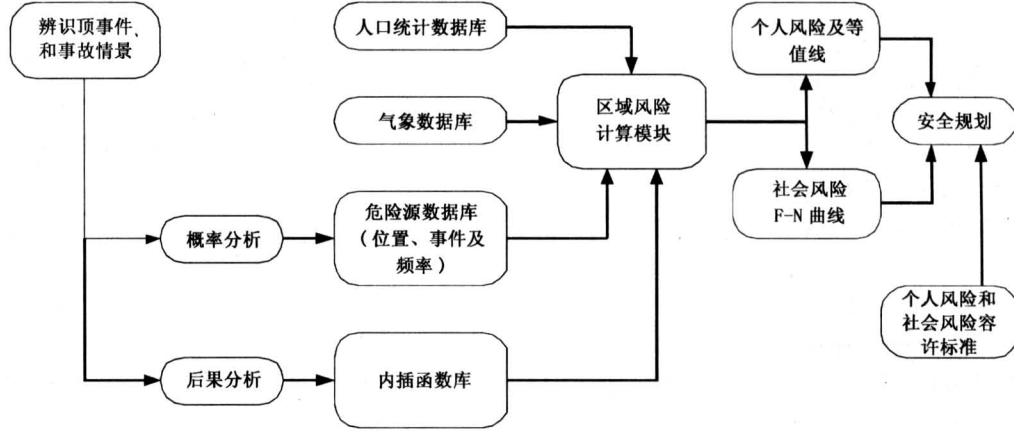


图 4 区域定量风险评价过程总体框架

Fig.4 Procedure for quantitative area risk assessment

3 定量风险评价软件开发

笔者在研究过程开发了定量风险评价软件。该软件具备个人风险的网格计算、区域个人风险的叠加、数据输入和计算结果输出功能, 并具备危险源数据库、气象条件数据库、危险物质数据库的使用和维护功能。此外, 开发了凝聚相含能材料爆炸、瞬间泄漏蒸气云爆炸、连续泄漏蒸气云爆炸、沸腾液体扩展蒸气云爆炸、池火灾、闪火、固体火灾、毒物瞬间泄漏中毒、毒物连续泄漏中毒等事故后果的动态链接库, 并且考虑了风向对事故后果的影响因素。

4 应用实例

上述评价方法已应用于某油气库区的安全规划中^[8]。该库区共有油气储存企业 3 家, 汇集了 LPG 储罐 33 个、丁烷储罐 1 个、汽油储罐 2 个、柴油储罐 4 个, 总库容约 11 000 m³。该库区周边企业众多, 且离居民区较近, 存在较大的事故隐患。

图 5 为经计算得到的该地区个人风险等值线。图 6 为社会风险曲线。

由图 5 可见, 1 × 10⁻⁵ 的个人风险等值线覆盖了除 3 个油气库以外的其他工业设施; 1 × 10⁻⁶ 的个人风险等值线向西覆盖部分居民设施。不符合推荐标准的要求^[4]。由图 6 可见, 由于该地区液化石

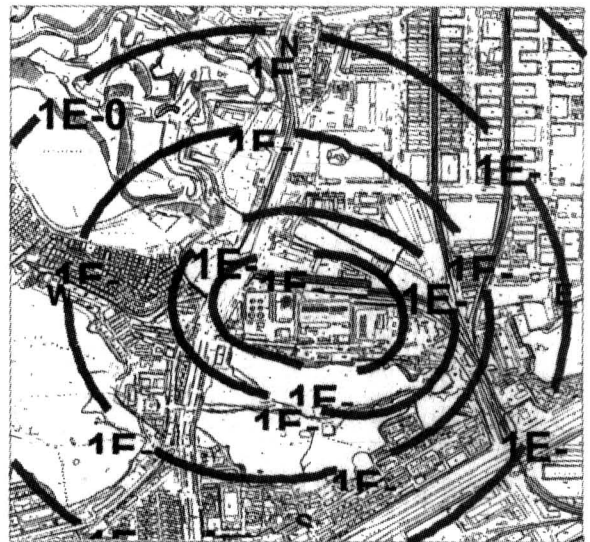


图 5 某市某油气库区个人风险等值线计算结果

Fig.5 Calculated individual risk contours for one oil and gas storage area

油气储量大, 事故后果严重, 且库区周边人口较密, 使得社会风险部分处于不可容许区域, 超出了社会风险容许标准。

5 结论

目前, 我国尚没有成熟的城巿安全规划技术方法。笔者提出了区域定量风险评价方法, 并将其应用于城巿重大危险源的安全规划中。现场的试点应

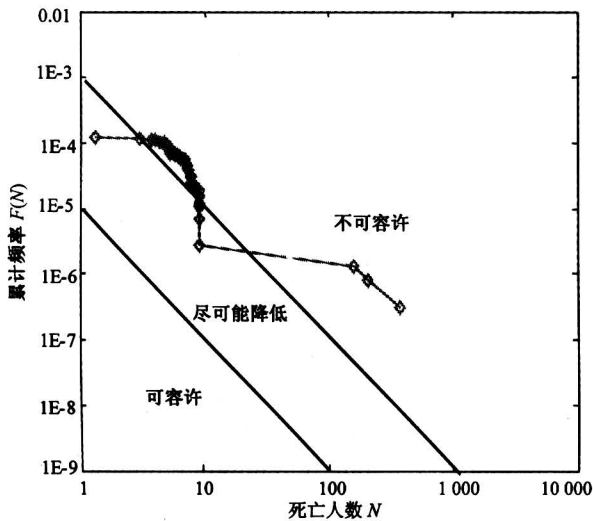


图6 某市某油气库区社会
风险 ($F-N$) 曲线

Fig.6 Calculated social risk curve ($F-N$)
for one oil and gas storage area

用表明, 该方法科学、合理、可行。这为进行城市土地使用安全规划和重大危险源安全规划提供了基础理论和技术方法, 对开展其他灾害的安全规划也具指导意义和参考价值。

参考文献

- [1] 吴宗之. 城市土地使用安全规划的方法与内容探讨[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(6): 86~90
- [2] 吴宗之. 国内外安全(风险)评价方法研究与进展[A]. 二十一世纪安全科学与技术的发展趋势[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [3] A Report to the Rijnmond Public Authority. Risk analysis of six potentially hazardous industrial objects in the rijnmond area, a pilot study[R]. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 1982
- [4] Bottelberghs P H. Risk analysis and safety policy developments in the netherlands[J]. Journal of Hazardous Materials, 2000, 71: 59~84
- [5] Faisal I K, Abbasi S A. Risk analysis of a typical chemical industry using ORA procedure [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2001, 14: 43~59
- [6] Arendt J S. Using quantitative risk assessment in the chemical process industries [J]. Reliability Engineering and System Safety, 1990, 29: 33
- [7] “十五”国家科技攻关课题“城市公共安全规划技术、方法与程序研究”研究报告[R]. 中国安全生产科学研究院, 2004
- [8] “十五”国家科技攻关课题“城市公共安全规划技术、方法与程序研究”应用报告[R]. 中国安全生产科学研究院, 2004

Quantitative Area Risk Assessment Method and its Application in Land Use Safety Planning for Major Hazard Installations

Wu Zongzhi, Duo Yingquan, Wei Lijun, Guan Lei

(China Academy of Safety Science and Technology, Beijing 100029, China)

[Abstract] Quantitative area risk assessment (QARA) method and its subsequent application in land safety planning for major hazard installations was initially studied in this paper. The basic principle and indicators of QARA were briefly introduced. Calculating models for individual and social risk, procedure for assessment as well as calculating software were developed. The developed method was applied to one oil and gas storage area. Individual risk contour and social risk $F-N$ curve were established by the developed calculating software. The results show that the individual risk and social risk of the storage area are both beyond the allowed risk standards due to huge reserves of LPG and the high people density. The method shows theoretical and practical value in land use safety planning for major hazard installations and also for other kinds of disasters.

[Key words] risk assessment; land use safety planning; major hazard installation; urban planning