

区域定量风险评价方法在民用爆炸物品生产企业中的应用

侯海周¹, 胡毅亭¹, 杨家福², 王大寰³

1. 南京理工大学化工学院, 南京 210094
2. 兵器工业安全技术研究所, 北京 100053
3. 北京国科安联科技咨询有限公司, 北京 100037

摘要 为合理规划民用爆炸物品生产企业的危险源,明确企业对所在区域的影响,总结并完善了区域定量风险评价指标,建立了风险计算模型,给出了个人风险和社会风险的可接受标准,并对某民用爆炸物品生产企业进行了安全评估。通过分析计算,得到了该企业的个人风险等值线图和社会风险图。结果表明,该企业的个人风险和社会风险均未超过推荐标准的可接受风险水平,说明区域定量风险评价方法在民用爆炸物品生产企业的安全评价中具有应用价值,对民用爆炸物品生产企业的规划选址与总图布置具有一定的指导意义。

关键词 安全工程;区域定量风险评价;个人风险;社会风险

中图分类号 X932

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.17.006

Applications of Quantitative Area Risk Assessment to the Manufactory of Civil Explosives

HOU Haizhou¹, HU Yiting¹, YANG Jiafu², WANG Dahuan³

1. School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China
2. China Ordnance Industrial Safety Technology Research Institute, Beijing 100053, China
3. Beijing Guokeanlian Safety Assessment Co. Ltd., Beijing 100037, China

Abstract Dangerous sources in the manufactory of the civil explosives are the important factors affecting the level of area safety. A Quantitative Area Risk Assessment (QARA) method and its applications to the planning for dangerous sources were briefly introduced. A model of the method on area risk assessment is developed. The individual and social risk indexes, the acceptable risk levels of individual risk and social risk as well as the calculating procedures are briefly proposed based on the existing criteria of individual risk and social risk from other countries. The detailed steps, main work contents, and general methods concerned and noticed in the quantitative risk assessment procedure are given. These are very helpful to the applications of QARA. The QARA is utilized to assess the manufactory of the civil explosives. The individual risk contour and the social risk chart are obtained after the analysis. The method could not only reflect the distribution of regional risks, but also provide a decision support for the planning and layout of the risk sources in the manufactory of civil explosives.

Keywords safety engineering; QARA; individual risk; social risk

0 引言

目前,中国民用爆炸物品生产企业规划选址主要采用安全距离法,这是一种“基于后果”的方法。“基于后果”法是对假定事故后果的评估,以事故后果物理量的阈值为规划依

据,对事故概率考虑较少。虽然安全距离法比较直观,便于操作,但不能全面给出民用爆炸物品生产企业对所在区域的影响。此外,安全距离法使用时比较机械,对不同危险源的具体设计、安全措施等因素考虑较少。同时,随着中国社会经济的

收稿日期:2010-12-06;修回日期:2011-05-05

作者简介:侯海周,博士研究生,研究方向为系统安全,电子信箱:houhaizhou99@163.com;胡毅亭(通信作者,中国科协所属全国学会个人会员登记号:E520001617M),讲师,研究方向为民用爆破器材产品开发和评价方法,电子信箱:huyiting@hotmail.com

发展,往往出现城镇居民生活区或者工业设施包围民用爆炸物品生产企业的现象,造成整个区域的安全隐患;或者出现由于该区域内建设有民用爆炸物品生产企业,而不能建设其他工业设施的情况,对当地的经济发展起到阻碍作用。因此,建立科学的民用爆炸物品生产企业区域风险评价方法对整个区域的安全状况做出准确评估,并在此基础上对风险值较高的地区实施布局改造,对民用爆炸物品生产企业的危险源或其他设施进行合理规划,显得尤为重要。

宋占兵等^[1]基于事故后果的重大危险源安全规划方法,以危险源周边人群为主要脆弱性目标,通过分析事故后果伤害范围和目标的脆弱性级别确定危险源与周边环境的兼容性。多英全等^[2]提出了基于风险的重大危险源选址规划方法,给出了推荐的风险可接受标准以及风险计算的一般程序。高建明等^[3]从风险分析的角度出发,提出了中国安全生产方面的风险标准界定方法,设计了中国风险标准研究框架。国内目前有关区域定量风险评价的研究大多着眼于城市规划中的重大危险源或者对其中个人风险和社会风险的量化研究。

笔者在民用爆炸物品生产企业安全评价中引入国外在20世纪七八十年代发展的基于风险的危险源规划选址方法——区域定量风险评价方法(Quantitative Area Risk Assessment, QARA),该方法是一种“基于风险”的方法。“基于风险”法综合评估潜在事故后果的严重度和可能性,以个人风险和社会风险作为规划依据,在风险分析方面更全面。国外比较成熟的区域风险指标主要是个人风险和社会风险,采用了该指标的国家大都根据各国的实际情况制定出了相应的标准和计算方法,将其作为区域规划或改造的决策依据意见^[4-5]。本文总结多位学者在这方面的研究成果,基于国内民用爆炸物品生产企业安全生产实际情况,提出具有实际应用价值的区域定量风险评价体系和指标,对民用爆炸物品生产企业的布局提供有益建议。

1 区域定量风险评价

区域定量风险评价是在充分考虑地理信息、人口分布、工厂位置、危险品运输路线、气象资料以及事故形态等因素的基础上,综合考虑事故发生频率和事故后果,通过数学处理,将各种危险源的事故风险进行叠加,获得区域整体性的个人风险等值线分布;将获得的个人风险同周边人口密度和分布结合,获得区域整体性的社会安全风险容量曲线;将个人风险等值线和社会风险容量曲线同相应的风险容许标准进行对比,从而描述区域整体性风险程度。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^[6]。

1.1 网格定义

个人风险和社会风险的计算首先从定义计算区域的网格开始,即计算网格。网格单元的中心被称为网格点,每个网格点上都要进行个人风险的计算,网格单元的尺寸应尽可能小,以不影响计算结果为原则^[7]。如果重要事件的影响距离小

于等于300m,则网格单元的尺寸应不大于25m×25m;如果重要事件的影响距离大于300m,则可用100m×100m的网格单元。可能的话,也可用混合网格单元,即在影响距离小于300m处用小网格单元计算,在大于300m时用大网格单元计算。第二步是确定每个网格单元的人数,假定每一个人口区域(如一个房间或一组房子的中心位置)是一个网格单元,且人在整个网格单元中均匀分布,也就是假定在一个网格单元内有相同的人口密度。

1.2 个人风险

个人风险(individual risk)是指评价区域内的所有危险源因各种潜在事故造成区域内某一固定位置的人员个体死亡的概率,常用风险等值线图表征。在进行个人风险计算时,一般情况下,人们仅考虑事故导致人员死亡的危险,因此事故后果为人员死亡,单位为:死亡人次/a。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^[1]:

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

其中, $R(x,y)$ 为该危险源所在位置(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个事故情景所在位置(x,y)处引起的个体死亡概率,N为事故情景的个数。

通过事故后果模型计算出事故情景在该位置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概率。表1为建议的个体死亡风险标准^[7]。

表1 建议的个人死亡风险标准
Table 1 proposed standard for the risk of death

可接受个人 风险水平/a ⁻¹	应用范围
人员一年中有1×10 ⁻⁴ 的死亡概率	在企业外地区不能接受该风险,1×10 ⁻⁴ 等值风险线不应越过企业边界。
人员一年中有1×10 ⁻⁵ 的死亡概率	商业区和低隐患工业区不能接受该风险,1×10 ⁻⁵ 等值风险线不应该进入这些区域。
人员一年中有1×10 ⁻⁶ 的死亡概率	住宅开发区不能接受此风险,1×10 ⁻⁶ 风险等值线不应该进入住宅区。

1.3 社会风险

社会风险(social risk)与区域内的人口密度密切相关,是对一次可能造成多人伤亡事故的可能性进行定量分析,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,用社会风险曲线(F-N曲线)表示。英国等确定了不同危害活动的可接受风险标准^[9],见图1。对中国而言,采用介于中间的香港社会风险可接受标准是比较合适的。

1.4 区域定量风险评价程序

评价程序如图2所示^[8]。

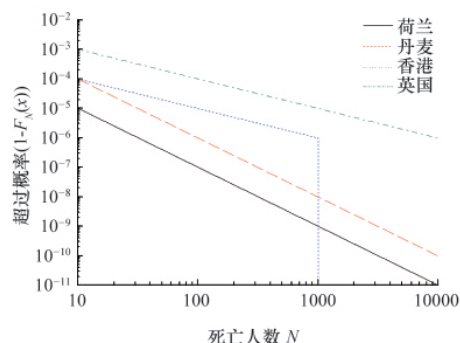


图 1 国外和香港的可接受社会风险

Fig. 1 Acceptable social risk at aboard and Hong Kong

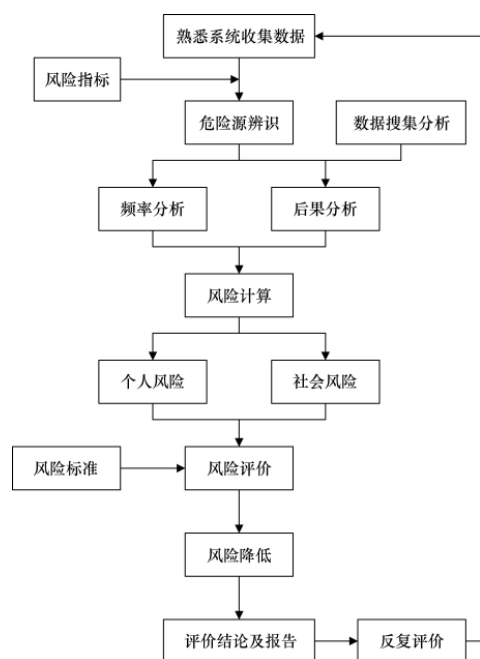


图 2 区域定量风险评价程序

Fig. 2 Assessment procedures of QARA

2 应用实例

某民用爆炸物品生产企业有 500t 硝酸铵库房 2 座,乳化炸药基质制造工房 1 座,定量 20t。厂区南面为矿区的排土场,北面为矿区采运设备维修厂(正常情况下约有 500 人);西面为汽车修理厂(正常情况下约 14 人)。

2.1 危险源辨识

一套装置划分的设备可能很多,但并不是每个设备都能带来危险,通常一套装置中,80%的风险是由 20%的设备所引起的^[7]。因此,在风险评估中无需考虑所有设备,只需考虑对整个装置安全影响较大、危险性较高的设备^[7]。对该民用爆炸物品生产企业而言,其危险性较高的设备设施为:螺杆泵(2 台)、乳化机(2 台)、硝酸铵库房(2 座)。

2.2 事故情景

对于民用爆炸物品生产企业,工库房中存储的为爆炸性物品,容易发生凝聚相含能材料爆炸,产生非常严重的后果。

因此,爆炸事故作为民用爆炸物品生产企业的主要安全生产事故类型。

2.3 概率分析

概率分析是定量风险评价中非常重要的一步,但计算生产事故发生的概率十分困难,其原因是无论采用什么计算方法,都必须建立在大量的事故统计基础上。

目前,石化装置的概率分析分为两个部分:一是泄漏的概率分析;二是泄漏后引起火灾、爆炸等事故的概率分析。前者是确定泄漏可能发生的概率,通过概率分析,可以预测现在或将来发生泄漏的概率,并作为起始概率供泄漏事故概率分析所用;后者是确定发生泄漏后引起各种事故的概率,一般使用事件树方法,利用发生泄漏的概率作为起始概率,分析发生泄漏后引起的事故概率。对于硝酸铵储存,取其发生爆炸概率为 $1 \times 10^{-5}/a$ ^[7]。

对于乳化炸药生产中使用的螺杆泵、乳化机,由于缺少事件树中基层事件发生概率,不能很好地利用现有数据。根据民爆行业发布的数据,从 1991 年到 2006 年底,全国乳化炸药生产车间共发生燃烧爆炸事故 13 起,其中乳化机 6 起,螺杆泵 3 起,敏化机 2 起;在所有的爆炸事故中,因设备原因而发生的爆炸事故占 85%。截至 2006 年底,国内工业炸药生产线共计 545 条,其中乳化炸药生产线约有 400 条,由此采用统计的方法可以得到由于乳化机和螺杆泵的原因导致燃烧爆炸事故的概率为 $1 \times 10^{-3}/a$ 。

2.4 事故后果分析

2.4.1 个人风险等值线图

爆炸是物质的一种剧烈的物理、化学变化,是大量能量在短时间内迅速释放或急剧转化成机械能的现象。凝聚相含能材料爆炸能产生多种破坏效应,其中危险性最高、破坏力最强、影响区域最大的是冲击波的破坏效应。

凝聚相含能材料的爆炸冲击波超压 ΔP 可按下式计算^[9-11]:

$$\Delta P = \Delta P_s P_0$$

$$\Delta P_s = \begin{cases} 1 + 0.1567Z^{-3} & \Delta P > 5 \\ 0.137Z^{-3} + 0.119Z^{-2} + 0.269Z^{-1} - 0.019 & 1 < \Delta P < 10 \end{cases} \quad (2)$$

$$Z = \frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}}$$

$$E = 1.8WQ_c$$

其中, Z 为无量纲距离; ΔP 为目标处的超压值,Pa; P_0 为环境压力,一般取为 101325Pa; ΔP_s 为冲击波超压,Pa; R 为目标到爆源的水平距离,m; E 为爆源总能量,J;1.8 为地面爆炸系数; W 为含能材料的质量,kg; Q_c 为爆炸物的爆热,J/kg。

冲击波超压伤害概率方程通常使用 Purdy 等的经典概率方程^[12]:

$$Y = 2.47 + 1.43 \lg \Delta P \quad (3)$$

按式(3)求出冲击波超压概率 Y ,然后根据 Y 与死亡概率的换算关系^[8],求出死亡率。分别计算螺杆泵、乳化机、硝酸铵库房的死亡率,利用式(1)确定区域内各点的个人风险大

小,再分别将风险值为同一数量级的各点连接成线,形成一条条互不相交的闭合曲线,如图3所示,越往内风险越高,越往外风险越低。

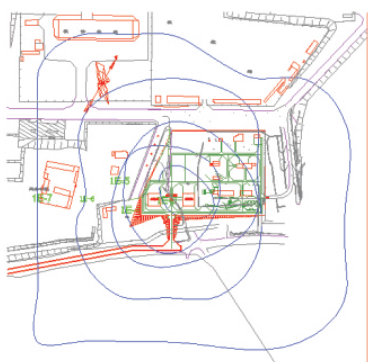


图3 个人风险等值线示意图
Fig. 3 Illustration of individual risk contour

2.4.2 社会风险图

社会风险的计算基于假定网格内的人口密度都集中于网格中心,从而将个人风险计算结果与人口数字相乘得到预测的死亡人数。通过做不同死亡人数-累计频率关系图,得到区域社会风险的曲线。具体用下式表示:

$$N = \sum_{i=1}^n D_i \cdot S \cdot v_i \quad (4)$$

式中, N 为总的死亡人数, D_i 为第*i*个网格的人口密度, S 为网格面积, v_i 为第*i*个网格的个人死亡率, n 为网格数目(图4)。

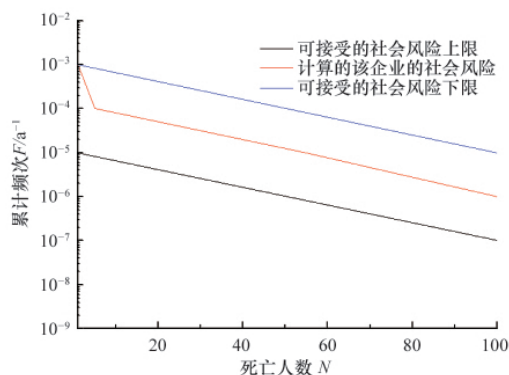


图4 社会风险图
Fig. 4 Calculated social risk curve ($F-N$)

2.5 风险评价

由图3可见, $10^{-3}/a$ 个人风险等值线未越过该工厂区域; $10^{-4}/a$ 虽越过该工厂边界,但主要涉及工厂四周一些开阔地带,没有固定人员活动场所; $10^{-5}/a$ 越过工厂西面汽车修理厂,没有出现商业区和低隐患工业区; $10^{-6}/a$ 越过厂区北面矿区采运设备维修厂,没有出现住宅开发区。符合推荐标准要求。

由图4可见,该民用爆炸物品生产企业 $F-N$ 曲线未超过推荐标准的可接受水平。

3 结论

通过对区域定量风险评价理论的系统探讨,结合应用实

例,得出以下结论。

(1) 利用区域定量风险评价方法对某民用爆炸物品生产企业进行了风险评价,获得了个人风险等值线图和社会风险图。分析表明,该生产企业个人风险和社会风险均符合推荐标准要求的可接受水平,该企业对所在区域的影响处于可接受水平。

(2) 民用爆炸物品生产企业的规划选址中采用区域定量风险评价方法是可行的。

(3) 区域定量风险评价方法可用于民用爆炸物品生产企业特别是多危险源共同影响下的区域定量风险评估。

参考文献 (References)

- [1] 宋占兵, 多英全, 师立晨, 等. 一种基于事故后果的重大危险源安全规划方法[J]. 中国安全生产科学技术, 2009, 5(5): 32-36.
Song Zhanbing, Duo Yingquan, Shi Lichen, et al. Journal of Safety Science and Technology, 2009, 5(5): 32-36.
- [2] 多英全, 魏利军, 于立见, 等. 基于风险的重大危险源选址规划研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2007, 3(6): 20-23.
Duo Yingquan, Wei Lijun, Yu Lijian, et al. Journal of Safety Science and Technology, 2007, 3(6): 20-23.
- [3] 高建明, 王喜奎, 曾明荣. 个人风险和社会风险可接受标准研究进展及启示[J]. 中国安全生产科学技术, 2007, 3(3): 29-34.
Gao Jianming, Wang Xikui, Zeng Mingrong. Journal of Safety Science and Technology, 2007, 3(3): 29-34.
- [4] Papazoglou I A, Nivolianitou Z S, Bonanos G S. Land use planning policies stemming from the implementation of the SEVESO-II directive in the EU[J]. Journal of Hazardous Materials, 1998, 61(1-3): 345-353.
- [5] Brazier A M, Greenwood R L. Geographic information systems: A consistent approach to land use planning decisions around hazardous installations[J]. Journal of Hazardous Materials, 1998, 61(1): 355-361.
- [6] 吴宗之, 多英全, 魏利军, 等. 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[J]. 中国工程科学, 2006, 8(4): 46-49.
Wu Zongzhi, Duo Yingquan, Wei Lijun, et al. Engineering Science, 2006, 8(4): 46-49.
- [7] 中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院. 石化装置定量风险评估指南[M]. 北京: 中国石化出版社, 2007.
SINOPEC Qingdao Safety Engineering Institute. A guidance for quantitative risk assessment in the petrochemical plant [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2007.
- [8] 贾伟, 朱建新, 高增梁, 等. 区域定量风险评价方法及其在化工园区中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(5): 140-146.
Jia Wei, Zhu Jianxin, Gao Zengliang, et al. China Safety Science Journal, 2009, 19(5): 140-146.
- [9] 孙华山. 安全生产风险管理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
Sun Huashan. Risk management of work safety [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [10] 隋鹏程, 陈宝智, 隋旭. 安全原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
Sui Pengcheng, Chen Baozhi, Sui Xu. Safety theory [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [11] 吴宗之, 高进东, 张兴凯. 工业危险辨识与评价 [M]. 北京: 气象出版社, 2000.
Wu Zongzhi, Gao Jindong, Zhang Xingkai. Hazard identification of industry and assessment[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2000.
- [12] 刘骥, 高健明, 关磊, 等. 重大危险源分级方法探讨[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(6): 162-165.
Liu Ji, Gao Jianming, Guan Lei, et al. China Safety Science Journal, 2008, 18(6): 162-165.

(责任编辑 代丽)