

基于受体易损性评估的突发事故 环境风险应急管理研究*

谢兴勇 祖 维 刘雪梅 彭喜花

(淮阴工学院生命科学与化学工程学院, 江苏 淮安 223003)

摘要 以化工企业突发液氯泄漏事故为例,通过故障树分析方法确定典型事故情景,以人群为环境风险受体构建突发污染事故受体易损性评估模型。利用污染物最大浓度、人口密度、脆弱人口比例计算物理易损性;根据科学性、数据可获得性原则,筛选人口密度、居住环境、与污染源的距离、与可达医院的最近距离、与通达道路的最近距离5个指标计算受体社会易损性。分析居民对突发事故易损性的空间差异,不仅为事故安全防范与应急控制提供关键节点,也有助于在日常风险管理中增强受体的抗风险能力。

关键词 突发事故 液氯泄漏 易损性评估 环境风险管理

Environmental risk management of sudden accident based on vulnerability assessment XIE Xingyong, ZU Wei, LIU Xuemei, PENG Xihua. (College of Life Science and Chemical Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an Jiangsu 223003)

Abstract: Environmental risk management of sudden accident was carried out with liquefied chlorine gas leakage accident in chemical industry as case study. The typical accident scenario was assumed by fault tree analysis, and the conceptual model of environmental risk targets vulnerability assessment was built according to the health of exposed population. Physical vulnerability was calculated by maximum concentration of chlorine gas, population density and the scale of vulnerability population. Social vulnerability was calculated by population density, building type, distance with risk source, distance to hospital, and distance to road. The results provide not only instructions for building up risk targets' resistance, but also decision supports for emergency response to environmental pollution accidents.

Keywords: sudden accident; liquefied chlorine leakage; vulnerability assessment; environmental risk management

近年来,突发环境污染事件频发,此类事件具有发生随机、途径多样、强度较大、破坏严重等特点,对人体健康、生态安全以及生产生活构成重大威胁,是环境污染控制和安全保障面临的重大难题。在现阶段无法完全消除环境风险的背景下,突发污染事故的应急管理至关重要。有效的环境风险应急管理应充分利用区域资源的优化配置调控风险危害布局,从而加强受体抵抗风险的能力,起到降低事故损失的作用。环境风险的有效降低,不仅取决于日常风险防范管理的有效性,也依赖于事故发生时能否迅速采取有效的风险应急控制措施。

环境风险应急管理通常受制于资源(包括时间、金钱、技术、人力和物力等)的有限性,而且,不同风险源、不同受体、不同风险阶段的风险大小也并不相同,因此有必要识别出需要重点管理的风险源、敏感的环境风险受体以及关键的环境风险控制节点,实现环境风险的“优先管理”。

易损性分析是在迅速确定人群中那些最易损的人群(受体)以及寻找如何应付和适应危害的机制以减轻其危险的需求下而产生的,恰恰切合了环境风险应急管理的需求,因此易损性分析在环境风险研究领域得到广泛的关注和应用^[1-4]。本研究以江苏淮安某化工企业突发液氯泄漏事故为例,构建环境风险受体易损性评估模型,研究筛选风险控制关键节点的方法,为制定和采取科学、合理、有效的突发事故应急管理对策提供技术支撑。

1 研究区域概况

淮安市某化工企业(事故源)周边自然及社会环境如图1所示。氯气是其氯碱车间的主要产品,为了便于储运,通常将氯气在常温下加压成液态。氯气对人体健康的危害主要表现在能刺激眼、鼻、喉和呼吸道,并能通过皮肤黏膜对人体产生毒害作用,症状严重时,会发生肺水肿,甚至死亡。氯气对人的眼

第一作者:谢兴勇,男,1980年生,博士,讲师,主要从事水环境模拟、环境风险等方面的研究。

* 国家自然科学基金资助项目(No. 41301048);江苏省高校自然科学基金资助项目(No. 12KJD610002)。



图 1 研究区周边环境
Fig.1 Location of the research area

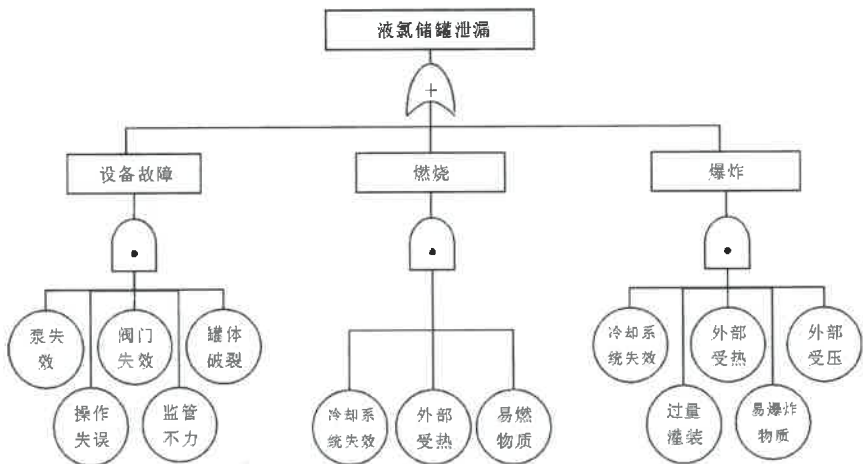


图 2 液氯储罐泄漏的故障树分析
Fig.2 The fault tree of liquefied chlorine leakage from storage tank

睛和皮肤也有强烈的刺激作用,对植物的危害主要表现在使其脱水、枯死。一旦发生环境风险事故,企业员工及周边居民将受到严重威胁,本研究以液氯储罐泄漏为关键事件,通过故障树分析构建典型事故情景,并针对其造成的环境污染进行受体易损性评估。

2 典型事故情景构建

液氯储罐在储存过程中,可能由于燃烧、爆炸、温度和压力过高等潜在因素作用造成液氯储罐泄漏,并在不同的环境下引发不同形式的灾害。在故障树分析中,根据液氯存储单元的操作数据、失效历

史、氯气理化参数及经验知识等对液氯存储单元进行危险辨识,分析会导致危险出现的关键因素。危险辨识包括调查所有可能引发事故的潜在因素,并进一步分析这些因素的出现可能是由哪些具体条件综合作用所导致。

以液氯泄漏作为初始事件,采用故障树分析方法针对风险源进行典型环境风险事件原因分析,分析结果见图 2。在事故起因上,液体储罐泄漏可能由设备故障、燃烧和爆炸等原因引起。设备故障可能由于泵、阀门失效等机械故障,操作失误以及监督、检查不力造成,燃烧和爆炸可能与冷却系统失效、外部受热、与易燃易爆等物品接触造成。液氯作

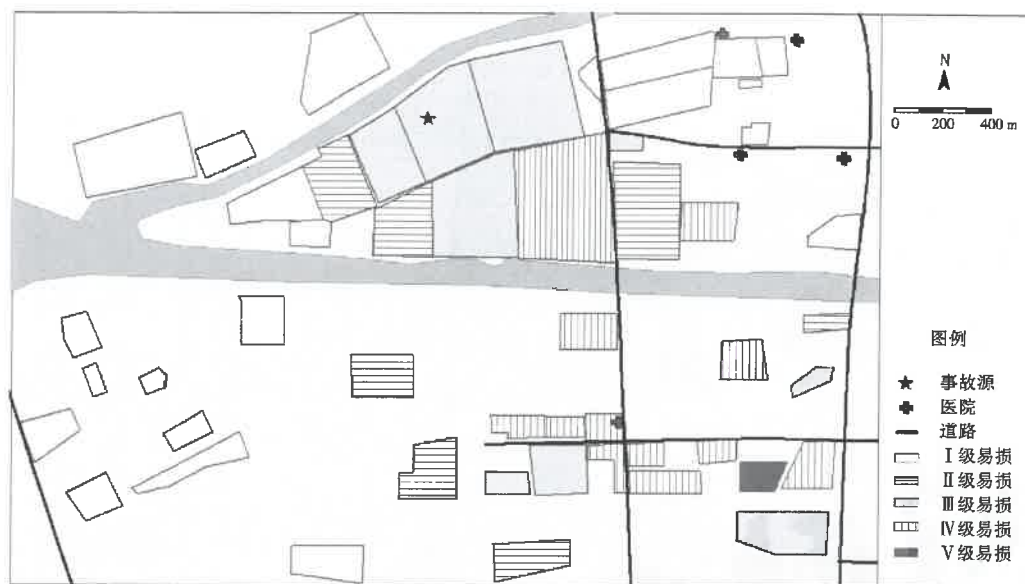


图 3 液氯泄漏事故人群受体的物理易损性

Fig. 3 Physical vulnerability of human in the vicinity of the risk source

为一种性质比较活泼的物质,在与其他易燃气体混合并遇到热源、冷却系统失效或外部受热情况下也容易发生燃烧和爆炸。

3 环境风险受体易损性评估

环境风险源、环境风险介质、环境风险受体是突发污染事故环境风险系统的 3 个主体,其中环境风险受体是指风险因子可能危害的人、有价值物体、自然环境及社会系统。根据环境风险系统理论^[5]及自然灾害领域的受体易损性研究^[6],将“环境风险受体易损性”定义为受体在风险场中的暴露及其对风险的抵抗和恢复能力的综合度量。

易损性可以从 2 个方面进行剖析,一是受体的物理易损性,通过突发污染事故典型污染物的暴露剂量-响应关系予以确定,它是环境风险受体受风险因子的胁迫强度,决定了是否需要采取风险规避措施保护受体^[7-9];二是受体的社会易损性,反映受体对风险的响应能力与应急资源水平,是确定受体抗风险能力的关键,由系统外部因素决定^[10-13]。本研究依据上述理论构建受体易损性评估模型,研究突发污染事故对周边人群健康的影响。

3.1 人群受体物理易损性

假定淮安市目标化工企业由于液氯罐底端破裂导致液氯泄漏,发生事故时,储罐内有液氯 10 t,事故期间气温为 15 ℃,风速为 2.5 m/s,风向为西北风,相对湿度为 0.7,大气稳定度为 D 级(较稳定)。利用有害气体区域定位软件 ALOHA 进行模拟,得

到液氯泄漏事故的危害区域分布,其中最大源强为 173 kg/min,最大泄漏量为 9.07 t,持续泄漏时间为 27 min。人群受体的物理易损性由式(1)计算,分级标准如表 1 所示,得到物理易损性的区域分布如图 3 所示。

$$V_{\text{phy}} = D_{\text{pop}} \cdot C_{\text{max}} \cdot 10^R \quad (1)$$

式中: V_{phy} 为人群受体的物理易损性,无量纲; D_{pop} 为人口密度,人/ km^2 ; C_{max} 为事故发生期间污染物在该区域的最大质量浓度, kg/km^3 ; R 为脆弱人口(60 岁以上及 15 岁以下人群)占总人口的比例。

表 1 人群受体物理易损性分级标准
Table 1 Classification criterion of physical vulnerability

V_{phy} 值	级别
0~2	I 级易损
3~10	II 级易损
11~20	III 级易损
21~30	IV 级易损
30 以上	V 级易损

参考自然灾害领域相关研究成果,笔者对突发污染事故人群受体所在的物理易损区域提出以下应急管理措施:I 级易损区基本不受事故影响,无需采取应急管理措施;II 级易损区易受轻微影响,可自行采取规避措施;III 级易损区需要进行紧急人员疏散;IV 级和 V 级易损区除人员疏散以外,还需要进行应急救援队伍、车辆、物资的合理调度,其中 V 级易损区为优先救助区域。

图 3 表明此次突发液氯泄漏事故中人群受体易损性较高的区域主要分布在事故源的下风向,需要



图 4 研究区人群受体的社会易损性

Fig. 4 Social vulnerability of human in the vicinity of the risk source

进行紧急人员疏散的是事故源周边的几家企业,需要应急队伍、车辆、物资救助的是下风向的多个居民区,其中有所学校因脆弱人口比例较高需优先救助。

通过物理易损性评估,还可以明确事故本身的发展规律,从而为环境污染事故应急决策提供重要依据,科学指导应急救援和疏散工作。例如在日常风险管理中应加强重点风险源的防范,制定有效的应急预案,在事故应急救援中突出重点并优先救援物理易损性较高的区域,事故应急疏散中更需避开Ⅳ级和Ⅴ级易损区。

3.2 人群受体社会易损性

人群受体的社会易损性分析结果可以为事故应急资源的有效配置提供明确依据,不仅有利于指导应急资源调控,而且能在日常风险管理中为加强受体抗风险能力提供科学依据。

根据科学性原则和数据的可获得性,选取人口密度、居住环境、与污染源的距離、与可达医院的最近距离、与通达道路的最近距离 5 个指标对风险受体的社会易损性进行划分。获取全部指标值后按表 2 的分级原则进行标准化处理,并按式(2)计算社会易损性,其分级标准见表 3。

$$V_{soc} = \prod v_n \quad (2)$$

式中: V_{soc} 为人群受体的社会易损性,无量纲; v_n 为选定的指标根据阈值区间进行分级标准化后的数值,无量纲。

当研究区化工企业发生事故时,计算事故源周边人群受体的社会易损性,得到人群受体社会易损

性的区域分布如图 4 所示。

由图4可见,研究区的人群受体在突发事故中

表 2 人群受体社会易损性指标及其标准化赋值

Table 2 Grading of indicators and social vulnerability

指标	名称	单位	阈值区间	标准化赋值
v_1	人口密度	人/km ²	0	0
			1~10	1
			11~100	2
v_2	居住环境		>100	3
			室外/露天	1
			平房	2
			多层建筑	3
v_3	与污染源的距離	m	高层建筑	4
			<100	4
			100~500	3
			500~2 000	2
v_4	与可达医院的最近距离	m	≥2 000	1
			<100	1
			100~500	2
			500~1 000	3
v_5	与通达道路的最近距离	m	≥1 000	4
			<100	1
			100~200	2
			200~500	3
			≥500	4

表 3 人群受体社会易损性分级标准

Table 3 Classification criterion of social vulnerability

V_{soc} 值	级别
0~8	I 级易损
9~48	II 级易损
49~192	III 级易损
193~768	IV 级易损

的社会易损性普遍较高,主要原因是企业周边人口居住密度较大,而医疗、救援等公共服务相对落后,因此,该地区风险管理的重点应是:加强风险源的监控;认真做好应急预案的编制并加强演练,提高对突发事件的应急处理能力;改善高危区域的交通状况,以便于人群疏散和救援物资的调度;加强Ⅳ级易损区域的医疗保障工作,利于事故后的人员救治;在条件许可的情况下,对事故发生率高的企业进行整体搬迁。

4 结 语

通过受体易损性评估可反映事故源周边区域人群受体易损性的空间分布,不仅为加强受体抗风险能力提供依据,也能够为突发事件的应急响应提供关键信息。

以淮安市某化工企业液氯储罐泄漏事故为例,评价了人群受体的物理易损性和社会易损性,明确突发污染事故的高危害区和易损受体。对比评估结果,两类易损性的空间格局差别较大,即物理易损性高的受体其社会易损性未必很高,反之亦然。这充分体现了从物理和社会两个角度分析易损性的必要性,物理易损性反映的是环境污染事故的自然规律,而社会易损性则指示了事故的社会成本,污染事故发生在不同环境以及同一环境发生两件不同的事故,其对人群受体造成的损害是截然不同的,因此,物理易损性和社会易损性是环境污染事故风险分析中不可偏废的两个重要方面。

参考文献:

- [1] SOUZA PORTO M F, FREITAS C M. Vulnerability and industrial hazards in industrializing countries: an integrative approach [J]. *Futures*, 2003, 35(7): 717-736.
- [2] TIXIER J, DANDRIEUX A, DUSSERE G, et al. Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, 130(3): 251-264.
- [3] BOŽIDAR S, MILENA J S. Chemical and radiological vulnerability assessment in urban areas[J]. *Spatium*, 2006, 13/14: 21-26.
- [4] ROSELLO M J P, MARTINEZ J M V, NAVARRO B A. Vulnerability of human environment to risk: case of groundwater contamination risk [J]. *Environment International*, 2009, 35(2): 325-335.
- [5] 杨洁, 毕军, 李其亮, 等. 区域环境风险区划理论与方法研究[J]. *环境科学研究*, 2006, 19(4): 132-137.
- [6] CUTTER S L, MITCHELL J T, SCOTT M S. Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County, South Carolina[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2000, 90(4): 713-737.
- [7] MORELLO FROSCHE R, JESDALE B M. Separate and unequal: residential segregation and estimated cancer risks associated with ambient air toxics in US metropolitan areas[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2006, 114(3): 386-393.
- [8] LARA VALENCIA F, HARLOW S D, LEMOS M C, et al. Equity dimensions of hazardous waste generation in rapidly industrializing cities along the United States-Mexico border [J]. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2009, 52(2): 195-216.
- [9] KELLOGG W A, MATHUR A. Environmental justice and information technologies: overcoming the information access paradox in urban communities[J]. *Public Administration Review*, 2003, 63(5): 573-585.
- [10] EAKIN H, BOJORQUEZ TAPIA L A. Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis[J]. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 2008, 18(1): 112-127.
- [11] EBERT A, KERIE N, STEIN A. Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air- and spaceborne imagery and GIS data[J]. *Natural Hazards*, 2009, 48(2): 275-294.
- [12] GLATRON S, BECK E. Evaluation of socio-spatial vulnerability of city dwellers and analysis of risk perception: industrial and seismic risks in Mulhouse[J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2008, 8(5): 1029-1040.
- [13] TSCHAKERT P. Views from the vulnerable: understanding climatic and other stressors in the Sahel[J]. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 2007, 17(3/4): 381-396.

编辑:丁 怀 (修改稿收到日期:2013-05-20)

(上接第91页)

- [10] 宋言奇. 发达地区农民环境意识调查分析——以苏州市714个样本为例[J]. *中国农村经济*, 2010(1): 53-62, 73.
- [11] 赵瑞琴, 周晓黎, 李静. 农村环境及农民环境意识的影响因素研究——基于河北省697份调查问卷的分析[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(16): 9797-9800.
- [12] 巩前文, 张俊彪, 李瑾. 农户施肥量决策的影响因素实证分析——基于湖北省调查数据的分析[J]. *农业经济问题*, 2008(10): 63-68.
- [13] 何浩然, 张林秀, 李强. 农民施肥行为及农业面源污染研究[J]. *农业技术经济*, 2006(6): 2-10.
- [14] 郑鑫. 丹江口库区农户氮肥施用强度的影响因素分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(5): 75-79.
- [15] 张利国. 垂直协作方式对水稻种植农户化肥施用行为影响分析——基于江西省189户农户的调查数据[J]. *农业经济问题*, 2008(3): 50-54.
- [16] ZHU Z L, CHEN D L. Nitrogen fertilizer use in China-contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002, 63(2/3): 117-127.
- [17] JU X, LIU X, ZHANG F, et al. Nitrogen fertilization, soil nitrate accumulation, and policy recommendations in several agricultural regions of China[J]. *Ambio*, 2004, 33(6): 300-305.
- [18] PENG S, BURESH R J, HUANG J, et al. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China[J]. *Field Crops Research*, 2006, 96(1): 37-47.

编辑:陈泽军 (修改稿收到日期:2013-08-22)