

化工企业拆迁场地健康风险评估

唐秋萍, 张毅, 王伟
(环境保护部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042)

摘要: 随着城市的发展,越来越多的工业企业逐步搬迁出主城区,遗留下的场地将会用作商业或居住用地,对这些拆迁场地如不加强环境管理,可能会对公众健康造成危害。以化工企业拆迁场地为例,按照危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征4个步骤,介绍了健康风险评估的一般方法,着重介绍了“危害识别”步骤中对于化工企业拆迁场地环境调查方面的方法与注意事项。最后指出了我国在污染场地健康风险评估方面的不足,并提出了相应的建议。

关键词: 化工企业; 污染场地; 健康风险评估
中图分类号: X820.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6732(2010)-04-0007-05

Health Risk Assessment on Demolished Sites of Chemical Enterprises

TANG Qiu-ping, ZHANG Yi, WANG Wei
(Nanjing Institute of Environmental Science, Ministry of Environmental Protection, Nanjing, Jiangsu 210042, China)

ABSTRACT: With the development of urbanization in China, more and more industrial enterprises would be removed out of urban areas. If not properly managed, the remaining sites which would be redeveloped for business or construction may pose health risk to the public. The method of health risk assessment on chemical industry demolished sites was introduced in 4 steps: hazard identification, exposure assessment, toxicity assessment and risk characterization. Focused on methods and attentions on site investigation of chemical industry demolished sites in the “hazard identification” step. Discussed the difficulties in assessing the health risk of contaminated sites in China and some advices were put forward.
KEY WORDS: chemical industrial enterprise; contaminated site; health risk assessment

近年来,中国许多城市正将一些污染较重的企业,尤其是化工企业迁出人口稠密的城区,据不完全统计,2000—2005年,江苏省共有400家化工企业搬出城区,城区内关停的小化工企业数量更是多达1000多家。预计在2010年前,江苏省城区内的所有化工企业将集中布局在城区外的化工园区,城区将空置出 $2 \times 10^8 \text{ m}^2$ 土地^[1]。拆迁后的原工业场地往往规划为商业或居住用地。但这些工业场地在长期的工业生产活动中受到不同程度的污染,为保护后来使用者的身体健康,在转化使用功能之前,需要进行场地环境风险评估乃至场地修复。虽然国家目前在此方面还未出台统一的技术规范,但一些地方省市已经根据各自的具体情况制定了相应的场地环境风险评估导则,为工业拆迁场地的环境风险评估工作提供具体的技术指导^[2]。

健康风险评估由美国国家工程学院和国家科学院于1972年首先提出,并于1983年的红皮书中正式发布,其内容是以危害识别、暴露评估、毒性评

估及风险表征4个主要框架执行健康风险评估^[3]。目前,世界上许多国家都开展了健康风险评估研究工作,一些国家在采用美国方法的同时,构建了适合本国国情的健康风险评估体系^[4]。中国环境保护法和环境影响评价法规定,须对规划项目和建设项目开展环境影响评价,但对已经造成污染的场地是否需要开展健康风险评估没有作出规定^[5],这方面的研究实例也比较少。笔者按照危害识别、暴露评估、毒性评估及风险表征4个主要框架,以化工企业拆迁场地为例,探讨这类污染场地的健康风险评估方法。

1 危害识别

针对化工污染场地,危害识别工作主要分为场地环境调查、场地样品采集、污染物分析等内容。

收稿日期: 2009-09-21; 修订日期: 2010-01-13
作者简介: 唐秋萍(1981—),女,助理工程师,硕士,从事环境影响评价工作。

首先,需要对场地及其周边地区的地理、地质、水文、气候等自然环境条件以及暴露人群特征(人群分布、人群结构、人群生活方式等)进行调查。其次,需要对该企业化工产品的生产工艺、化学原料、设备、工业三废及污染车间建(构)筑物的情况进行调查。在调查过程中,尤其要注意了解厂区内是否发生过有机溶剂泄露、设备爆炸等安全事故,因为这些事故都会造成厂区内局部位置土壤和地下水污染物浓度极高。这些资料可以通过资料审阅、场地勘查和人员访谈等方式得到。针对化工企业,调查的重点对象是化工产品的生产场地,原料、产品及废弃物的堆放场地。在这些资料搜集的基础上,需要建立场地概念模型并制定污染鉴别方法。在目前中国工业场地环境调查中,相关的技术导则有2007年1月北京市环保局出台的《场地环境评价导则》(北京市地方标准)和环境保护部组织编写的《场地环境调查技术规范》(已出台了征求意见稿)。此外,还可以参考美国材料和测试协会(ASTM)的标准ASTM E-1527-05。

化工企业拆迁场地具有高污染、高风险的特点,在现场勘查中,须特别关注以下几点:

(1) 建(构)筑物及设施调查:描述目标场地内的建(构)筑物、设施或设备,例如:建筑物的栋数、每一栋的楼层数、概略的房屋年限、建筑大概的面积、储槽的数量与槽龄、管线位置等。其中原料库、废物库、尾气房等生产单元,产品包装车间,收集废液的玻璃钢池,固体废物堆存点是重点调查区域。此外,也要搜集场地建筑物参数,如室内空间体积与蒸气入渗面积比、室内墙体或地基厚度、地基和墙体裂隙表面积所占比例等资料,用于后续风险评估。

(2) 工艺设备及设施调查:如果原生产装置已被拆除,可以通过访谈了解原先的设备布局,通过对生产工艺流程的了解大致确定可能存在的污染物主要类型及污染分布点。保留或拆卸下来的生产设备是重点调查对象,须详附调查清单和照片记录。

(3) 水文、地质及地形调查:搜集场地及其周边区域的水文、地质及地形方面的资料,以协助分析可能存在的污染物是否容易进入地下含水层并随地下水而迁移。

(4) 其他勘查重点:恶臭、各种容器、加热或冷却装置、污渍或腐蚀、排水管与污水坑、坑洞、水槽、

池沼或其他地表水、土壤或人工铺设地面、植被、任何形式的抽水井或监测井、化粪池及污水系统、饮用水供应系统、道路及停车设施等。此外,毗邻场地周边区域的使用现状及可能存在的污染物质,应尽可能在报告中予以记录。对于周边区域的土地目前或过去使用的情况(例如:住宅、商店、工厂等),也应尽可能加以记录。

依据现场勘查,将污染区初步划分为:潜在高污染区(储槽区、生产车间、原料仓库、废弃物和有毒物质堆放贮存区,污染防治地点如废水处理场等),潜在低污染区(工作人员办公室、作业场所、作业车辆通道和停车场),可能无污染区(员工宿舍、停车场、绿化用地或空地等)。

样品采集是承前启后的一个环节,依据场地概念模型设计采样方案,选择合适的采样方法,对化工产品的生产场地和生产废物堆存点及其周围环境中的不同污染介质进行布点采样。根据场地调查所获得的信息,以污染场地为单元,进行采样总体规划,采集不同层次土壤、地下水、固废、建(构)筑物和设备污染样品。土壤样品采用经验判断布点和网格布点采集,固废样品通过网格或随机采样获得,建(构)筑物和设备污染样品用擦拭法(Wipe Sampling)采集,该方法是美国多氯联苯(PCBs)清除政策中的推荐方法。地下水样品通过监测井采集,监测井设置是依据地下水动力学原理,通过对地下水方向的初步研判,在上游和场地污染区域周界分别布点。若周界地下水检测合格,则其污染范围以此为界;如不合格,则必须进一步分析地下水流向,以达西公式(Darcy's formula)估算地下水流速,并推估污染物泄漏时间及计算可能移动距离,从而确定污染边界。

为保证样品采集的质量,要设置运输空白、现场空白、平行样和采样设备淋洗样。

2 暴露评估

暴露评估指定量或定性估计暴露量、暴露频率、暴露期和暴露方式,可分为3步:描述暴露背景、识别暴露途径和暴露量化。根据搜集的资料和实地调查分析场地物理特征,识别污染源和污染物排放方式、污染物迁移转化路径、暴露点和人群暴露方式,建立污染物从污染源到人体的各种可能的暴露途径,并确定人群暴露频率和暴露期。一般拆迁场地会作为住宅、商业或工业3种类型的用地,

根据不同的用地方式选择敏感受体、暴露途径和暴露模型。在此基础上,针对不同暴露人群,分暴露途径对各种暴露方式进行暴露点的污染物浓度和人体摄入量估算。在这3种用地方式下,需要考虑的主要暴露途径包括:①呼吸吸入土壤颗粒物和挥发性气体;②经口摄入水和食物;③皮肤接触被污染的土壤、水体和空气。对于住宅用地,以儿童作为敏感人群评估非致癌风险,以成人作为敏感人群评估致癌风险;对于商业和工业用地,以成人作为敏感人群评估致癌和非致癌风险。

污染物摄入量以不同剂量为基础,采用单位时间单位体重摄入量表示。呼吸摄入途径和经口摄入途径一般采用潜在剂量进行估算,皮肤接触途径采用吸收剂量进行估算。

2.1 呼吸摄入途径

挥发性气体中污染物摄入量:

$$Intake = \frac{C_a \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

土壤颗粒物中污染物摄入量:

$$Intake = \frac{C_p \times FP \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

式中: $Intake$ ——单位体重单位时间污染物摄入量, $mg/(kg \cdot d)$; C_a ——空气中挥发性气体的浓度, mg/m^3 ; IR ——摄取速率, m^3/h ; ET ——暴露时间, h/d ; EF ——暴露频率, d/a ; ED ——暴露期, a ; BW ——人群平均质量, kg ; AT ——平均暴露时间, d , 对于致癌物质, 为人群平均寿命, 对非致癌物质, 为暴露期^[6]; C_p ——空气中可吸入颗粒物含量, kg/m^3 ; FP ——可吸入颗粒物中污染物含量, mg/kg 。

2.2 经口摄入途径

饮水中污染物摄入量:

$$Intake = \frac{C_w \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

食物中污染物摄入量:

$$Intake = \frac{C_F \times IR \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

式中: C_w ——水中污染物质量浓度, mg/L ; C_F ——食物中污染物质量比, mg/kg ; FI ——被污染食物占总食物的比例; IR ——摄取速率, L/d

(水)、 $kg/meal$ (食物); EF ——暴露频率, d/a (水)、 $meal/a$ (食物); 其他参数含义同前^[6]。

2.3 皮肤接触途径

水体中污染物吸收量:

$Absorbed\ Dose =$

$$\frac{K_p^w \times C_w \times SA \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$$

土壤中污染物吸收量:

$Absorbed\ Dose =$

$$\frac{C_s \times Fadh \times SA \times ABS \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$$

空气中污染物吸收量:

$Absorbed\ Dose =$

$$\frac{K_p^a \times C_a \times SA \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

式中: $Absorbed\ Dose$ ——单位质量单位时间皮肤吸收污染量, $mg/(kg \cdot d)$; K_p^w , K_p^a ——与水和空气接触时污染物在皮肤中的渗透系数, cm/h ; C_s ——土壤中污染物浓度, mg/kg ; ABS ——皮肤对污染物的吸收分数; SA ——与污染水体、土壤和空气接触的皮肤表面积, cm^2 ; $Fadh$ ——土壤对皮肤的黏附系数; CF ——单位转换因子, $1L/1\ 000\ cm^3$ (水)、 $10^{-6}\ kg/mg$ (土壤); EF ——暴露频率, d/a (水)、 $events/a$ (土壤); 其他参数含义同前^[6]。

3 毒性评估

毒性评估是指利用场地目标污染物对暴露人群产生负面效应的可能证据, 估计人群对污染物的暴露程度和产生负面效应的可能性之间的关系^[7]。毒性评估一般分为危害识别和剂量-反应评估两个步骤。危害识别指分析暴露于某种物质是否会引起负面健康效应发生率的升高, 剂量-反应评估指定量评估污染物毒性, 描述污染物暴露剂量和暴露人群负面健康效应发生率之间的关系。

非致癌物质的毒性评估采用参考剂量表述。污染物的致癌毒性评估包括两方面内容, 首先对污染物质进行致癌毒性分类, 然后根据剂量-反应关系确定标准建议值, 用来估算暴露期内人体暴露于一定剂量污染物产生致癌效应的风险。基于短期暴露于较大剂量污染物和长期暴露于较小剂量污

染物所带来的致癌作用具有等价效应的假设,致癌风险评估常采用人体终生暴露可能造成的健康风险表示^[8]。美国国家环境保护局将污染物质的致癌毒性分为A、B、C、D、E 5 大类,并用剂量-反应曲线所确定的斜率因子这一标准建议值表示人体终生暴露于一定剂量某种污染物质而产生致癌效应的最大概率^[7]。

4 风险表征

风险表征主要分为3个部分:风险计算、不确定性分析、土壤修复值计算。这3个部分的工作为决策者(或委托人)提供环境风险管理依据,为开展场地土壤修复提供参考数据。

4.1 风险计算

(1) 致癌风险

将经口、经呼吸及经皮肤接触每种环境介质产生的暴露剂量相加,获得这3种途径暴露剂量总和,再将每种暴露途径产生的暴露剂量与致癌斜率因子相乘获得单一暴露途径产生的致癌风险,最后将每种暴露途径产生的风险相加,获得受体总风险水平。根据国外经验, 10^{-6} 为可接受总致癌风险的上限。若总致癌风险大于 10^{-6} ,应进行整治目标计算或进行下一层次健康风险评估;若小于或等于 10^{-6} ,则表示受体所承受的致癌风险处于可接受范围内,无须再做进一步的评估。

(2) 非致癌风险

非致癌风险一般采用危害商或风险商值进行表示。将经口、经呼吸及经皮肤接触每种环境介质产生的暴露剂量相加,获得这3种途径暴露剂量总和,再将每种暴露途径产生的暴露剂量除以关注污染物的参考剂量即获得各暴露途径下产生的风险商,再将各暴露途径的风险商相加,获得终生暴露于该种污染物的总风险商。参考国外经验,危害指数等于1为可接受非致癌风险的上限。若危害指数大于1,应进行整治目标计算或进行下一层次健康风险评估;若小于或等于1,则表示受体所承受的非致癌风险处于可接受范围内,无须再做进一步的评估。

4.2 不确定性分析

不确定性来源于风险评价的各个阶段,在野外取样、实验分析、模型参数获取、模型的适用性假设和毒理学数据分析等过程中均存在客观和主观的不确定因素。

(1) 分析暴露途径风险贡献率

通过分析各暴露途径对总风险的贡献率,筛选排列暴露途径的重要程度,为决策者开展场地风险评估管理提供依据。

(2) 分析模型参数敏感性

通过分析模型参数每变动百分之一对最终风险的变化程度的影响,来确定参数对最终风险的影响大小。参数敏感性越大,对最终风险的影响越大,在进行场地风险评估时就更需要从场地本身获取该类参数;若参数敏感性较弱,则可选择默认值来进行计算。

4.3 土壤修复值计算

在对场地进行了风险评估后,针对确实存在较高风险的场地,应考虑采取修复措施,因此需要确定一个修复目标,即应将目前的污染风险水平削减到什么水平才是可以接受的,以此科学地指导场地污染防治决策。

5 结论与建议

笔者以化工企业拆迁场地为例,借鉴国外风险评估的经验与方法,叙述了针对化工污染场地进行风险评价的一般方法。化工企业拆迁场地与其他污染场地健康风险评价的方法与过程是一致的,都是采取危害识别、暴露评估、毒性评估及风险表征4个框架进行。但化工企业拆迁场地往往遭受较严重的化学污染,且污染分布不均,因此在进行场地环境调查时需要充分了解原企业的生产工艺、化学原料、设备、工业三废及污染车间建(构)筑物的情况,也要了解厂区内是否发生过有机溶剂泄露、设备爆炸等安全事故,因为这些因素都将造成厂区内局部位置土壤、地下水污染物浓度极高,如对这些情况不了解,极易造成场地污染调查结果的片面与失实。在场地样品采集时,现场工作人员一定要配备足够的安全防护设备。

中国的城市化进程越来越快,原来城区中污染较重的企业正在逐步搬迁出主城区。拆迁遗留下的场地大部分用来新建住宅小区,对这些拆迁场地如不加强环境管理,很有可能对以后生活在此的居民健康造成危害。尽管中国已经采取了一些环保措施如开展建设项目的环评影响评价、“三废”的限量达标排放等,但由于公众环保意识薄弱、管理和监测手段相对落后,在中国开展污染场地健康风险评估还存在不少问题。归纳起来主要有以下3个

方面:① 无法可依。迄今为止,中国尚无关于污染场地健康风险评价的法律法规。② 监管不严。对场地内的污染历史与现状缺乏监管,有些企业在厂区内肆意倾倒、堆放会对土壤造成污染的物质,但缺乏相应的监管措施,这一状况无疑会对评价工作的开展带来影响。③ 技术研究落后。对场地目标污染物质的监测不全面,特别是有机污染物;对污染物质的环境行为认识不够;关于污染物质对人体的致病机理方面的研究相对薄弱。

基于中国污染场地健康风险评价方面的实际问题,笔者提出如下建议:① 尽快制定污染场地健康风险评价的法律法规,从国家法律层面上确定污染场地健康风险评价的地位,使之有法可依。② 完善监测体系,不仅对企业排出厂区的“三废”要加强监管,对企业在厂区内污染土壤等行为也要建立监管制度。③ 加大污染场地健康风险评价方面的科学研究力度,借鉴国外风险评价的经验,建立和完善污染场地健康风险评价指南和技术细则。加强环境科学和医学等学科之间的交流,开展污染物环境行为和污染物致毒机理等方面的研究,为健康风险评价提供理论依据。污染场地健康风险评

价和建设项目环境影响评价工作配套实施,将可以解决工业拆迁场地所涉及的环境风险问题。

[参考文献]

- [1] 张胜田,林玉锁,华小梅,等. 中国污染场地管理面临的问题及对策[J]. 环境科学与管理,2007,6(32):5-7.
- [2] 赵红静,李东. 工业拆迁场地环境风险评价的不确定性与环境风险过程管理[J]. 三峡环境与生态,2009,4(2):60-62.
- [3] 李政红,毕二平,张胜,等. 地下水污染健康风险评价方法[J]. 南水北调与水利科技,2008,6(6):47-51.
- [4] 黄文彦. 污染场址健康风险评估之现状与趋势[C]//第二届海峡两岸土壤及地下水污染与修复研讨会论文集. 北京:中国地质学会,2004.
- [5] 谌宏伟,陈鸿汉,刘菲,等. 污染场地健康风险评价的实例研究[J]. 地学前缘,2006,1(13):230-235.
- [6] 陈鸿汉,谌宏伟,何江涛,等. 污染场地健康风险评价的理论和方法[J]. 地学前沿,2006,1(13):216-223.
- [7] U. S. EPA. Risk assessment guidance for superfund: Human health evaluation manual [EB/OL]. 1989 [2009-09-10]. <http://www.epa.gov>.
- [8] U. S. EPA. Guidelines for exposure Assessment [EB/OL]. 1992 [2009-09-10]. <http://www.epa.gov>.
- [9] AN J L, UEDA H, MATSUDA K, et al. Simulated impacts of SO₂ emissions from the Miyake volcano on concentration and deposition of sulfur oxides in September and October of 2000 [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(22):3039-3046.
- [10] 王体健,李宗恺. 南方区域酸性沉降的数值研究模式[J]. 大气科学, 1996, 20(5):606-614.
- [11] 王自发,谢付莹,王喜全,等. 嵌套网格空气质量预报模式系统的发展与应用[J]. 大气科学, 2006, 30(5):778-790.
- [12] REYNOLDS S D, ROTH P M, SEINFELD J H. Modeling of photochemical pollution - 1. Formulation of the model[J]. Atmospheric Environment, 1973, 7(11):1033-1061.
- [13] REYNOLDS S D, LIU M K. Modeling of photochemical pollution - 3. Evaluation of the model[J]. Atmospheric Environment, 1973, 8(6):563-596.
- [14] CARMICHAEL G R, PETERS L K, KITADA T. A second generation model for regional scale transport chemistry deposition[J]. Atmospheric Environment, 1986, 20(1):173-188.
- [15] LAMB R J. A regional scale (1 000 km) model of photochemical air pollution - 1. Theoretical formulation[R]. 1983.
- [16] VENKATRAM A, KARAMACHANDANI P K, MISRA P K. Testing a comprehensive acid deposition model[J]. Atmospheric Environment, 1988, 22(4):737-747.
- [17] CARMICHAEL G R, PETERS L K, SAYLOR R D. The STEM - II regional scale acid deposition and photochemical oxidant model - I. An overview of model development and application[J]. Atmospheric Environment, 1991, 25(10):2077-2090.
- [18] SCHERE K L, WAYLAND R A. EPA Regional Oxidant Model (ROM2. 0): Evaluation on 1980 NEROS Data Bases [R]. 1989.
- [19] STREETS D G. An inventory of gaseous and primary aerosol emission in Asia in the year 2000[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(21):8809.
- [20] 唐孝炎,张远航. 大气环境化学[M]. 2版. 北京:高等教育出版社, 2006.