

Health Risk Assessment in Contaminated Sites of Relocated Chemical Enterprises

—A Case Study of Dyeing Chemical Contaminated Site

Chao Li^{1,2}, Weili Xi², Tao Bi², Yanli Zhi²

¹School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin

²Tianjin Eco-City Environmental Technology Consulting Co., Ltd., Tianjin

Email: lichao0618@163.com

Received: Nov. 30th, 2017; accepted: Dec. 14th, 2017; published: Dec. 21st, 2017

Abstract

Based on the Stage I and Stage II environmental investigation of a chemical enterprise contaminated sites in Tianjin, this paper established the conceptual model of the contaminated site by means of hazard identification, exposure scenario analysis and exposure path analysis. Through the calculation of health risk values, the carcinogenic risk and the hazard quotient of 9 kinds of pollutants such as benzene in this site exceed the acceptable level. So the contaminated site needed to be repaired. The restoration target and remediation scope of this contaminated site were defined. At last, the recommendations for the environmental management of the site were presented.

Keywords

Contaminated Site, Health Risk Assessment, Exposure Route, Carcinogenic Risk, Hazard Quotient

化工企业搬迁遗留污染场地人体健康风险评估

—以某印染化工遗留污染场地为例

李超^{1,2}, 西伟力², 毕涛², 支彦丽²

¹天津大学环境科学与工程学, 院天津

²天津生态城环境技术咨询有限公司, 天津

Email: lichao0618@163.com

收稿日期: 2017年11月30日; 录用日期: 2017年12月14日; 发布日期: 2017年12月21日

摘要

本文以天津市某化工企业搬迁遗留污染场地为例,在第一阶段和第二阶段污染场地环境调查的基础上,通过危害识别、暴露情景分析以及暴露途径分析等方法,建立了该场地的概念模型。通过风险计算,确定场地内苯等9种污染物的致癌风险或非致癌危害商超过风险可接受水平,该场地需进行后续修复工作,并确定了该场地的修复目标,初步划定了场地的修复范围,并提出后续场地环境管理的建议。

关键词

污染场地, 健康风险评估, 暴露途径, 致癌风险, 危害商

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着我国“退二进三”等政策的逐步实施,位于城市中心城区的大量工业企业搬迁、停产和倒闭所遗留的场地已成为我国污染场地的主要类型。这些遗留场地由于生产历史长,生产工艺变革多,大都存在一定程度的污染问题,对场地未来使用人群的健康可能产生不利影响[1] [2]。2016年5月,国务院发布的《土壤污染防治行动计划》(土十条)着重指出,对有色金属冶炼、石油加工、化工、焦化、电镀、制革等行业企业用地,以及用途拟变更为居住和商业、学校、医疗、养老机构等公共设施的上述企业用地,建立调查评估制度。因此,工业企业搬迁遗留场地成为城市污染场地调查的重点[3] [4] [5]。

污染场地健康风险评估(即“第三阶段场地环境调查”)是指针对特定土地利用方式下的场地条件,评价场地上一种或多种污染物对人体健康产生危害可能性的技术方法[6]。我国场地污染风险评估采用基于健康风险评估的原则。污染场地健康风险评估考虑到多种污染物可能同时存在于场地不同的介质之中,通过分析与受体相关的多种暴露途径,实现对多介质的健康风险评估,以可接受健康风险水平为出发点,提出保护人体健康的土壤修复目标值。姜林等[7]以北京某大型苯污染场地为例,确定了开展层次化健康风险评估的技术过程。钟茂生等[8]以某VOCs污染场地为例,结合实地调查,将健康风险评估用于场地风险管理策略的筛选。张丽娜等[9]以某焦化类大型污染场地苯污染土壤为例,针对3种暴露情景,分析不同情景下场地土壤中苯污染的暴露途径并进行健康风险评估。董敏刚等[3]则针对某典型有机化工污染场地,开展多层次健康风险评估,推算了土壤与地下水的筛选值和修复目标值,确定了污染修复范围及修复量。

污染场地风险评估结果是进行污染场地修复和管理决策的科学依据,有助于分析和比较多种修复措施的有效性,为合理制定土地利用规划和污染治理计划提供依据,有效地规避场地污染风险。

2. 工作内容和方法

评价的主要内容包括:健康风险评价(包括建立场地概念模型和风险水平计算),修复目标的确定和划定修复范围。根据第二阶段现场采样结果进行健康风险评价,由风险评价确定是否修复,如需修复,则进一步确定修复目标值和划定场地修复范围。

2.1. 建立场地概念模型

场地概念模型是用文字、图、表等方式来综合描述污染源、污染物迁移途径、人体或生态受体接触污染介质的过程和接触方式等。主要工作内容包括确定场地主要污染源；根据污染场地未来用地规划，分析未来受污染场地影响的人群；根据污染物及其环境介质的特性，分析污染物在环境介质中的迁移和转化；分析和建立暴露途径；综合各种暴露途径，建立场地污染概念模型。

2.2. 风险水平计算

风险分析一般包括致癌和非致癌两种不同的健康影响风险。致癌风险水平是通过平均到整个生命期的平均每天摄入量乘以经口、经皮肤或呼吸吸入致癌斜率系数计算得出。非致癌风险水平可通过平均到整个暴露作用期的每天摄入量除以每一途径的慢性参考剂量来计算。

2.3. 确定修复目标

污染物的场地修复目标是以风险可接受水平作为风险评价基准，按照风险计算的暴露情景反推得到。在确定修复目标时，还应参考该污染物的检出限、评价地区的土壤和地下水的背景值、当地的法律法规和修复技术的可行性。

2.4. 划定修复范围

将第二阶段采样分析结果绘制成等值线图，与场地修复目标相对照，可以初步确定出修复区域。若等值线图不能完全反映场地实际情况，可结合监测点位置、生产设施分布情况及污染物的迁移转化规律对修复范围进行修正。修复范围可根据不同深度的污染程度分别划定。

3. 案例分析

3.1. 退役化工企业基本情况

某化工企业搬迁遗留场地位于天津市中心城区，该场地历史上建设有天津市某染料厂(甲厂)和天津市某化工厂(乙厂)。甲厂主要生产染料中间体、颜料中间体、分散染料和碱性染料等多种产品，生产年限超过 10 年；乙厂主要生产电线电缆专用粒料、PVC、PVDC 片材等，另外还生产塑料片膜、专用塑料软带、各种塑料颗粒、塑料管材及阳离子交换树脂和增塑剂等化工产品，生产年限超过 40 年。场地第一阶段和第二阶段调查结果详见研究文献[10]。

3.2. 场地土壤污染评价结果

根据该退役化工企业场地今后的规划，将第二阶段初步调查和场地详细调查结果与《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11/T 811-2011)中工业/商服用地筛选值和 EPA 区域筛选值(2016.6)中工业用地筛选值进行比较分析，如表 1 所示。

土壤中检出超过筛选值污染物 9 种。主要是单环芳烃、多环芳烃、硝基苯和苯胺类。VOCs 超过筛选值污染物为单环芳烃，包括苯、甲苯、间二甲苯和对二甲苯，超过筛选值点位主要位于甲厂废染料车间，浓度随深度增加逐渐降低，其中苯污染深度达到第 2 层地下水底板(11m)，甲苯、间二甲苯和对二甲苯为浅层土壤污染。SVOCs 超过筛选值污染物为苯并(a)芘、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、二苯并(a,h)蒽、硝基苯、苯胺。其中硝基苯、苯胺超过筛选值点位全部位于甲厂废染料车间，浓度随深度增加逐渐降低，其中苯胺污染深度达到第 2 层地下水底板(11 m)；苯并(a)芘、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、二苯并(a,h)蒽超过筛选值的区域，均位于乙厂范围内。

Table 1. Statistical data of soil pollution**表 1.** 场地土壤污染调查结果统计

序号	污染物	检出限(mg/kg)	筛选值(mg/kg)	最大值(mg/kg)	超过筛选值比例(%)
1	甲苯	0.05	3300	3500	1.82
2	间二甲苯和对二甲苯	0.05	100	160	1.82
3	苯	0.01	1.4	7540	12.73
4	苯并(a)蒽	0.05	4	8.06	1.82
5	苯并(b)荧蒽	0.05	4	4.69	3.64
6	苯并(a)芘	0.05	0.4	2.97	7.27
7	二苯并(a,h)蒽	0.05	0.4	2.11	5.45
8	硝基苯	0.1	35	132	1.82
9	苯胺	0.1	4	53.8	7.27

3.3. 场地概念模型

3.3.1. 危害识别

依据场地风险管理的基本思路,当污染调查结果显示场地土壤或地下水中某种污染物的最高检出浓度超过相应的风险筛选值或筛选标准时,通常认为该污染物的潜在健康风险可能超过可接受水平,需结合场地用地规划、污染物空间分布、场地水文地质条件、未来受体的具体暴露特征参数等因素构建场地风险概念模型,并定量评估其健康风险。这类超过筛选值或评估标准、需进一步开展健康风险评估的污染物,通常称之为关注污染物。

根据场地水文地质特点和污染物分布特点,将场地土壤分为第一层(0~2.5 m)、第二层(2.5~5 m)、第三层(5~8.5 m)、第四层(8.5~11 m) 4层。每层关注污染物如表 2 所示。

其中土壤中苯、甲苯、二甲苯主要来自甲厂废染料仓库,均为化工染料生产过程中的原料,中间产物及产品。PAHs 主要来自于乙厂涤纶、塑料车间配料压浆工段,主要是塑料制品在加热过程中产生。

随着原工厂的拆除,生产车间构筑物 and 硬化地面破拆,车间内堆存的污染物未及时有效清理,污染物随雨水下渗至场地内土壤和地下水。进入地下水中的污染物可进一步随地下水的流动,向下游方向迁移,导致地下水污染羽的进一步扩散并可能污染饱和带土壤。基于以上分析,构建场地调查区域的概念模型如图 1 所示。

3.3.2. 暴露情景分析

《污染场地风险评估技术导则》(HJ25.3-2014)规定了 2 类典型用地方式下的暴露情景,即以住宅用地为代表的敏感用地(简称“敏感用地”)和以工业用地为代表的非敏感用地(简称“非敏感用地”)的暴露情景。根据场地规划资料,该场地未来用地类型为商业性公共设施用地,因此,该场地按照非敏感用地类型进行评估。

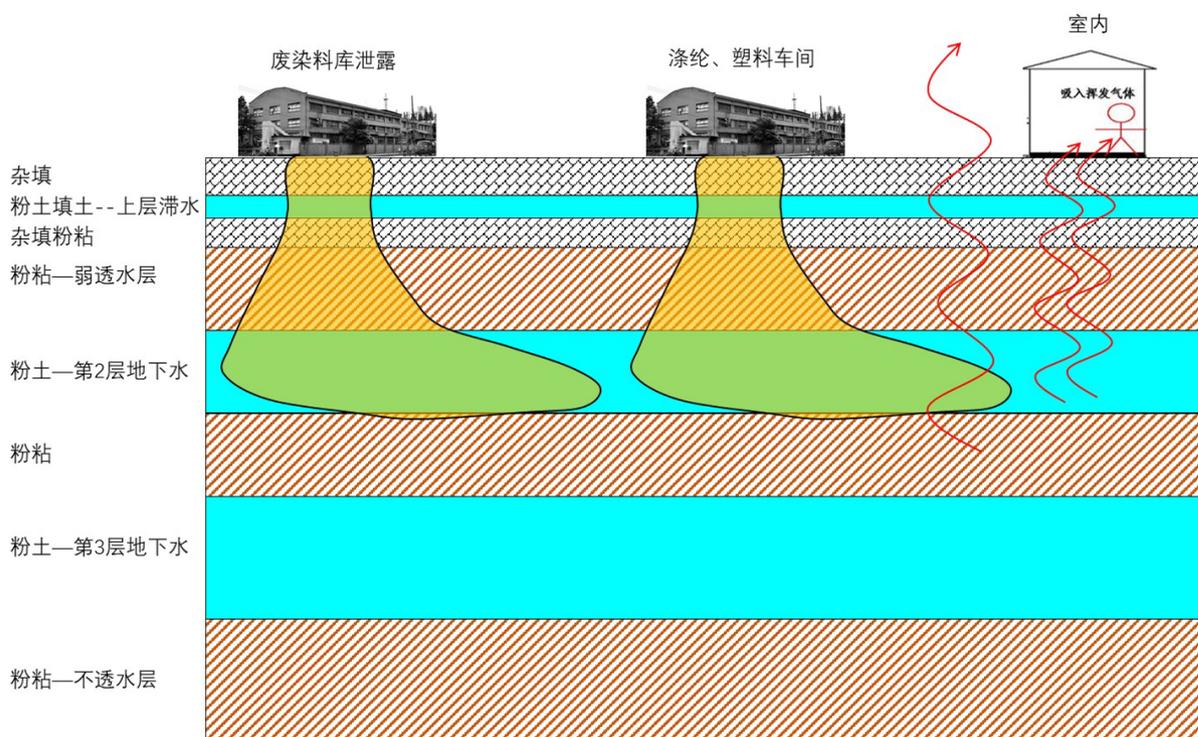
3.3.3. 暴露途径

考虑到场地未来规划为商业性公共设施用地,受体(儿童或成人)主要暴露特征是在室内进行商业活动、购物、休闲娱乐以及在室外休闲散步、玩耍等,暴露有室内也有室外。

场地上未来建筑基本位于污染土壤的垂直上方,污染物尤其是 VOCs 在分子扩散作用下依次通过地下水及污染土壤上方的非饱和土层进入地标呼吸层与受体接触,或依次通过土层及建筑物底板进入室内

Table 2. Contaminants of concerns selection**表 2.** 关注污染物筛选

污染物	第一层(0~2.5 m)	第二层(2.5~5 m)	第三层(5~8.5 m)	含水层底板(8.5~11 m)
苯	■	■	■	■
甲苯	■			
间二甲苯和对二甲苯	■			
苯并(a)芘	■	■	■	■
苯并(a)蒽		■	■	■
苯并(b)荧蒽	■	■	■	■
二苯并(a,h) 蒽	■		■	■
硝基苯	■			
苯胺	■	■	■	■

**Figure 1.** Schematic diagram of site conception model**图 1.** 场地概念模型示意图

空间与受体接触。浅层土壤，主要是第一层(0~2.5 m)，对场地内儿童、成人暴露途径主要是经口摄入和皮肤接触，扬尘造成吸入颗粒物。第二层(2.5~5 m)、第三层(5~8.5 m)、第四层(8.5~11 m) 4层属于深层土壤，暴露途径主要是 VOCs 和 SVOCs 经过挥发在空气中扩散、在室内聚集，使受体吸入挥发气体。结合场地结合未来受体的特征，具体暴露途径如图 2 所示。

3.4. 风险表征

在非敏感用地类型下，取场地污染物含量最大值，采用 HERA 平台计算场地内各层土壤风险。场地

内苯的致癌风险和非致癌效应整体较高, 甲厂废染料车间各土层致癌风险和非致癌效应均不可接受。硝基苯第一层(0~2.5 m)致癌风险不可接受。苯并(a)芘、苯并(b)荧蒹第一层(0~2.5 m)致癌风险不可接受。二苯并(a,h)蒽第一层(0~2.5 m)致癌风险不可接受。1-萘胺第一层(0~2.5 m)非致癌效应不可接受。苯胺第二层(2.5~5 m)非致癌效应不可接受。因此, 该场地土壤需进行修复(表 3)。

3.5. 修复目标确定

采用风险评估模型进行反算, 推导本场地基于商业性公共设施用地情境下土壤中风险超过可接受水平污染物建议修复目标。由于风险评估模型反算结果非常保守, 易造成场地过度修复, 因此将计算结果与《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11/T 811-2011)进行比较, 选择其中的最大值作为修复目标。修复目标值如表 4 所示。

3.6. 修复范围划定

根据土壤分层调查结果, 分层确定每种污染物修复范围。采用克里金插值法圈定超过每层修复目标的范围。甲厂废染料仓库是重点污染区域, 污染物含量过高, 采用人工修正的方法修正修复范围(图 3)。

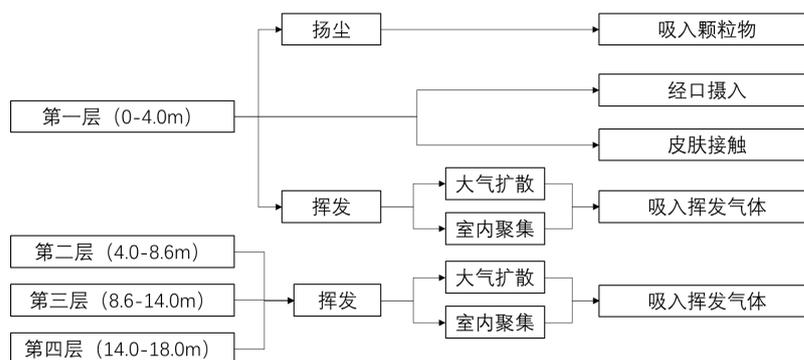


Figure 2. Schematic diagram of exposure pathway

图 2. 暴露途径示意图

Table 3. Results of carcinogenic risk and hazard quotient

表 3. 土壤致癌风险和非致癌效应评价结果

污染物	第一层(0~2.5 m)		第二层(2.5~5 m)		第三层(5~8.5 m)		含水层底板(8.5~11 m)	
	致癌风险	非致癌危害商	致癌风险	非致癌危害商	致癌风险	非致癌危害商	致癌风险	非致癌危害商
苯	2.5×10^{-4}	16	0.102	2.63×10^4	2.74×10^{-2}	1.69×10^3	1.65×10^{-2}	1.02×10^3
甲苯	--	0.277	--	--	--	--	--	--
间二甲苯 和对二甲苯	--	0.0346	--	--	--	--	--	--
苯并(a)芘	1.59×10^{-5}	--	5.84×10^{-10}	--	2.49×10^{-10}	--	1.46×10^{-10}	--
苯并(a)蒽	--	--	1.66×10^{-8}	--	6.28×10^{-9}	--	3.32×10^{-9}	--
苯并(b)荧蒹	2.51×10^{-6}	--	1.32×10^{-10}	--	6.29×10^{-11}	--	3.28×10^{-11}	--
二苯并(a,h)蒽	2.51×10^{-6}	--	--	--	4.64×10^{-12}	--	1.43×10^{-11}	--
硝基苯	3.47×10^{-6}	0.537	--	--	--	--	--	--
苯胺	2.35×10^{-7}	0.373	1.79×10^{-7}	6.7	1.81×10^{-8}	0.163	1.28×10^{-8}	0.115

Table 4. Soil remediation target value
表 4. 土壤风险建议修复目标值(mg/kg)

污染物	场地污染物浓度最大值	背景点监测值	理论计算值	北京筛选值(工业/商服) ¹	EPA 区域筛选值(工业) ²	建议修复目标
苯	7540	0.267~2.23	0.0151	1.4	5.1	1.4
甲苯	3500	<LOR~0.11	44.3	3300	47000	3300
间二甲苯 和对二甲苯	160	<LOR	1.48~1.55	100	2400	100
苯并(a)芘	5.54	<LOR~0.07	0.0636	0.4	0.29	0.4
苯并(a)蒽	22.7	<LOR~0.07	0.634	4	2.9	4
苯并(b)荧蒽	11.1	<LOR	0.636	4	2.9	4
二苯并(a,h)蒽	2.11	<LOR	0.0636	0.4	0.29	0.4
硝基苯	132	<LOR	1.19	35	22	35
苯胺	53.8	<LOR	6.88	4	400	6.88

1: 北京筛选值指北京市《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11/T811-2011)中的工业商服用地标准。
 2: EPA 区域筛选值指美国区域筛选值(2016)。



Figure 3. Schematic diagram of remediation scope
图 3. 修复范围示意图

4. 建议

经过污染场地调查和风险评估, 场地内历史生产活动对场地土壤环境造成显著污染, 且污染深度达到地面以下 11 m。污染物主要为挥发性和半挥发性有机物。因此, 在场地修复前, 则应严格减少土壤扰动; 在后续的场地修复过程中, 应做好污染防治工作, 以减少暴露情景下有机物挥发对人的影响。修复过程中应加强项目管理和环境监理, 修复工程完成后, 除开展修复验收外, 还应对该场地进行长期的环境监测。

基金项目

天津市企业博士后创新项目择优资助(2016Q026); 天津生态城投资开发有限公司科研项目(2017KT08)。

参考文献 (References)

- [1] 孙俊, 陈晓东, 常文越, 等. 搬迁企业环境遗留问题分析及修复对策研究[J]. 环境保护科学, 2003, 29(4): 40-42.
- [2] 钟茂生, 姜林, 姚玉君, 等. 基于特定场地污染概念模型的健康风险评估案例研究[J]. 环境科学, 2013, 34(2): 647-652.
- [3] 董敏刚, 张建荣, 罗飞, 等. 我国南方某典型有机化工污染场地土壤与地下水健康风险评估[J]. 土壤, 2015, 47(1): 100-106.
- [4] 张磊, 展漫军, 杭静, 等. 南京市某电镀企业搬迁遗留场地调查及风险评估[J]. 环境监测管理与技术, 2015, 27(6): 33-36.
- [5] 谢云峰, 曹云者, 杜晓明, 等. 土壤污染调查加密布点优化方法构建及验证[J]. 环境科学学报, 2016, 36(3): 981-989.
- [6] 钱建英. 退役化工企业污染场地健康风险评估(即第三阶段场地环境调查)[J]. 能源环境保护, 2016, 30(6): 44-47.
- [7] 姜林, 钟茂生, 梁竞, 等. 层次化健康风险评估方法在苯污染场地的应用及效益评估[J]. 环境科学, 2013, 34(3): 1034-1043.
- [8] 钟茂生, 姜林, 张丽娜, 等. VOCs 污染场地风险管理策略的筛选及评估[J]. 环境科学研究, 2015, 28(4): 596-604.
- [9] 张丽娜, 姜林, 钟茂生, 等. 基于用地规划的大型污染场地健康风险评估[J]. 环境科学研究, 2015, 28(5): 788-795.
- [10] 李超, 西伟力, 毕涛. 化工企业搬迁遗留污染场地第三阶段环境调查[C]. 中国环境科学学会 2017 年学术年会论文集. 厦门: 《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司, 2017.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: aep@hanspub.org