

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^①

董敏刚^{1,2}, 张建荣³, 罗 飞^{1,2}, 韩 璐^{1,2}, 晏井春¹, 陈梦舫^{1*}

(1 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049;

3 苏州市环境科学研究所, 江苏苏州 215007)

摘 要:以某典型有机化工污染场地为例,开展了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。结果表明:土壤与地下水均存在不同程度的有机污染,关注污染物氯仿、四氯化碳、苯、氯苯在 0~1 m 的土壤修复目标值分别为 0.03、0.05、0.35、6.51 mg/kg; 1~3 m 的土壤修复目标值分别为 0.07、0.30、0.90、13.49 mg/kg; 3~5 m 的土壤修复目标值分别为 0.14、0.46、1.69、20.45 mg/kg; 5~9 m 的土壤修复目标值分别为 0.25、0.79、2.99、36.27 mg/kg,地下水修复目标值分别为 0.32、0.51、3.43、21.80 mg/L。土壤中氯仿、四氯化碳、氯苯的超标点位随深度增加而增多,其风险或危害随之增大;地下水污染区域集中,GW6 号点位 4 种污染物均超标,其中氯仿污染最严重,致癌风险高达 1.11×10^{-3} ,非致癌危害商为 9.8。

关键词:有机化工污染场地;HERA;修复目标值;土壤与地下水健康风险评估;多层次风险评估

中图分类号:X820.4

化工行业是我国工农业生产的重要支柱产业,对我国的经济发展具有重要作用,同时也是环境污染的主要来源^[1]。随着产业结构的升级和“退二进三”旧城改造政策的实施,许多化工企业被关停和搬迁^[2]。由于自身生产工艺的需要,化工企业大多分布在江河湖海附近,长江三角洲和珠江三角洲作为化工行业的集聚地遗留了大量的污染场地。据不完全统计,近 3 年来仅江苏省就关停搬迁了 4 000 多家化工企业^[3]。长期的工业生产活动及环境管理不当使这些搬迁企业遗留场地具有高污染、高风险的特点,污染物复杂且种类繁多,不仅土壤受到污染,而且往往伴随地下水污染^[4-8]。因此,对该类场地进行管理与再开发时,亟待开展风险评估与修复治理。

近年来,虽然国内许多学者开展了化工污染场地土壤与地下水健康风险评估工作^[9-16],但大部分只针对场地土壤或地下水单一环境介质,而有机污染物的易迁移性往往导致场地同时存在土壤与地下水污染,仅针对土壤或地下水开展风险评估工作存在一定的局限性。部分研究虽然也采用了层次化风险评估的思

路,即利用国内外风险评估技术导则或标准中的通用筛选值进行第一层次的风险评估,如《污染场地风险评估技术导则》(征求意见稿)中的土壤启动值^[17],美国环保署(US EPA)公布的通用筛选值^[18]等;第二层次采用风险评估模型计算土壤或地下水中污染物的修复目标值,并进行风险表征。陈梦舫等^[19]比较了我国、英国和美国场地风险评估技术导则的异同性,认为国际土壤筛选值不适合在我国直接应用,且 2014 年 2 月 19 日出台的《污染场地风险评估技术导则》(发布稿)中取消了土壤启动值。开展第二层次风险评估时,对土壤分层位进行风险评估,对减少修复土方量、降低修复成本具有直接影响。然而目前国内针对化工场地土壤进行分层次评估的工作尚不多见,且针对我国南方地区特有的水文地质条件下如何构建场地概念模型还鲜有报道。

本文以我国南方某典型化工污染场地为研究对象,通过场地调查掌握了场地地层结构与水文地质特征、土壤与地下水的污染特征,采用中国科学院南京土壤研究所污染场地修复中心开发的污染场地健康

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向基金资助项目(KZCX2-YW-BR-19)、环保公益性行业科研专项项目(201309005)和国家高技术研究发展计划(863)项目(2013AA062608)资助。

* 通讯作者(mfchen@issas.ac.cn)

作者简介:董敏刚(1988—),女,湖北潜江人,硕士研究生,主要从事污染场地风险评估与地下水修复方面的研究。E-mail: mgdong@issas.ac.cn

与环境风险评估软件 HERA Version1.0(Health and Environmental Risk Assessment Software for Contaminated Sites)^[20]开展了不同深度的土壤与地下水多层次健康风险评估,制定了场地特征污染物的筛选值与修复目标值,划分了各层位土壤及地下水的修复区域,并计算了需修复的环境介质体积,以期为我国南方类似污染场地的风险管理与修复提供技术借鉴。

1 材料与方法

1.1 场地概况

本研究选择的化工污染场地位于长江下游冲积平原,地势平缓,河网稠密,常年平均风速为 2.8 m/s。该场地占地面积约 84 000 m²,始建于 20 世纪 50 年代,先后生产甲胺磷类农药、醚醛、邻苯二丁酯、硝基氯苯等多种农药化学原料与化工助剂等化工产品,2007 年全部搬迁拆除。场地所在区域地层结构主要分为 5 层,从上到下依次为 0~1 m 填土层、1~3 m 填土潜水含水层、3~5 m 黏土层、5~9 m 粉质黏土层、9~16 m 粉土质微承压含水层,该区域地下水潜水层埋深一般为 1.5 m 左右,季节性涨落水位差为 1~2 m。场地的水文地质情况如图 1 所示。

1.2 样品采集与分析方案

根据原厂区的平面布局与生产工艺对场地中潜在污染区进行初步判断,结合场地的地形特征与现场踏勘情况进行一次布点采样。场地土壤主要采用 20 m × 20 m 的网格法布设采样点位,同时在生产车间、贮罐区、污水站和管线附近等潜在污染区加密布点,共设置 123 个土壤采样点位。土壤样品采用

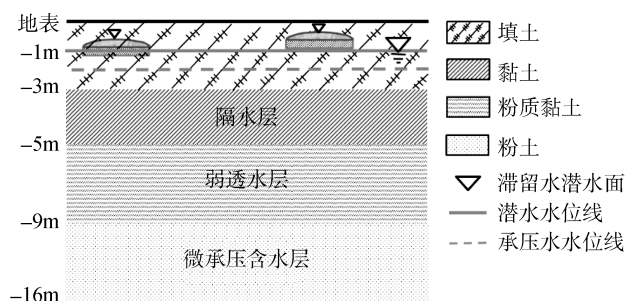


图 1 场地水文地质概念模型

Fig. 1 Hydrogeological conceptual model of site

Geoprobe 662DT 钻机进行采集,采样深度为 0~9 m,取样间隔为 1.2 m,每个土孔采集 3~7 个样品,共采集土壤样品 450 个。场地水文地质调查发现,潜水含水层水位浅、厚度薄、水量小,采集难度大;而场地拆迁多时,由于南方降雨多,地层中存在上层滞水,难以将二者区分。根据场地深层土壤污染物检测数据以及场地的水文地质调查结果,选择污染程度严重的微承压含水层设置地下水监测井。设置了 16 个地下水监测井,平均深度 9~16 m,监测井滤管分布在整个含水层,共采集地下水样品 16 个。经抽水试验测得微承压含水层有效孔隙度为 0.476。场地的平面布局、样点分布与地下水流场如图 2 所示。

土壤和地下水样品采集后置于低温箱中保存并及时送至实验室分析。所有样品均检测了挥发性有机物、半挥发性有机物、总石油烃(C6~C9、C10~C36)、多环芳烃、多氯联苯等共 48 种污染物,样品中有机污染物分析方法采用 US EPA 标准方法 8260C、8270D、8082A、8081B。

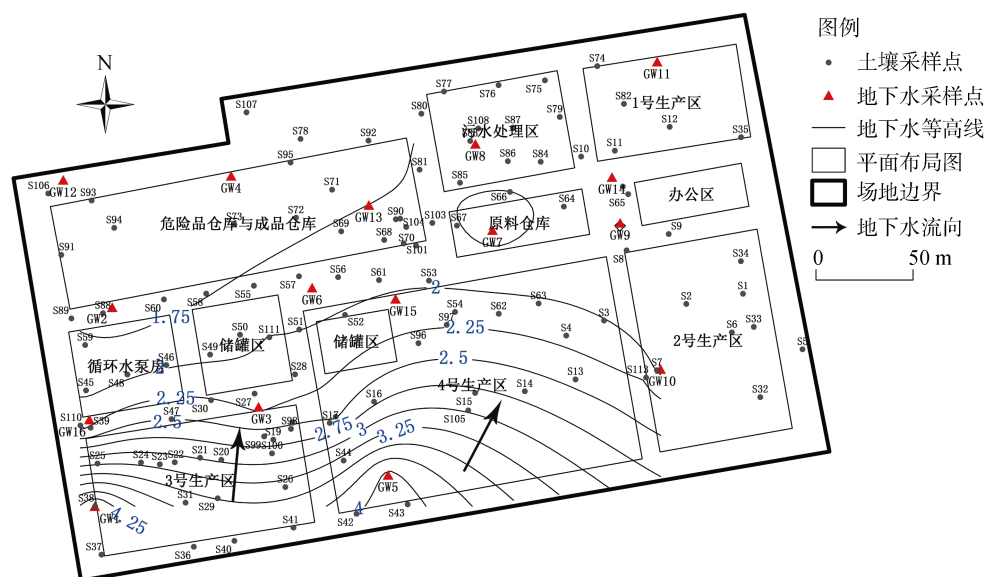


图 2 场地平面布局、样点分布与地下水流场图

Fig. 2 Layout of sampling points and groundwater flow field

场地内布设了 8 个土壤理化性质勘察调查孔,根据地层岩性变化在不同层次采集土壤原状土柱样品,按照《土壤农业化学分析方法》测定土壤的

基本理化性质^[21],包括土壤有机质含量、土壤体积质量、土壤含水率、土壤颗粒密度等。相关数据结果见表 1。

表 1 土层划分及土壤特征参数
Table 1 Soil hierarchy and soil characteristic parameters

深度 (m)	土质	有机质含量 (g/kg)	含水率 (%)	土壤颗粒密度 (g/cm ³)	土壤体积质量 (g/cm ³)
0~1	填土	20.0	0.32	2.73	1.39
1~3	填土	18.2	0.46	2.75	1.21
3~5	黏土	4.8	0.27	2.75	1.56
5~9	粉质黏土	5.4	0.30	2.73	1.48

1.3 评价方法

在污染场地风险评估工作中,构建污染场地概念模型非常重要。目前,国内外现有的风险评估模型针对的是场地包气带土壤与潜水含水层中污染物的迁移转化过程,对存在多个地下水含水层污染的情况并不适用。我国南方长江下游冲积平原与珠江三角洲冲积平原地区潜水含水层水位浅、厚度薄,且由于气候原因降雨量大,包气带土壤中多存在上层滞水,使得在实际场地调查工作中,潜水含水层采集难度大。本研究场地中,场地的潜水含水层与微承压含水层均存在不同程度的污染,而土壤中污染物随深度增加浓度越大。同时考虑到后期场地修复、再开发过程中,随着原厂房等建筑物拆迁过程中地基、建筑垃圾的清理出场,浅层土壤及潜水含水层(深度 0~2 m)一般也会被挖掘离场。因此本研究将场地的概念模型进行假设与概化,将潜水含水层这一薄层视为包气带土壤,即将 0~9 m 地层均视为包气带,将微承压水含水层视为潜水含水层,构建风险评估模型计算修复目标值时,基于风险评估的保守性原则,采用每个土层及以上土层中最保守的理化性质参数,计算微承压含水层时采用 0~9 m 土壤最为保守的理化性质参数。

本文拟在居住用地情景下,敏感受体为住宅区内的成人和儿童,进行两个层次的健康风险评估。第一层次风险评估中,将样品中检出的污染物视为潜在关注污染物,考虑场地所有可能的暴露途径,构建保守的初步场地概念模型,应用 HERA 软件计算土壤及地下水中潜在关注污染物的筛选值,根据样品分析结果确定场地关注污染物。第二层次风险评估中,根据场地污染源特征、水文地质条件等,对土壤进行分层,更新场地概念模型,应用 HERA 软件计算关注污染物的土壤与地下水修复目标值,对污染物进行风险表征,并估算超标污染物的修复面积及环境介质修复量。场地初步暴露概念模型如表 2。

表 2 场地暴露概念模型
Table 2 Site exposure conceptual model

污染源	暴露途径	敏感受体
表层土壤	经口摄入、皮肤接触、吸入室内颗粒物、吸入室外颗粒物、吸入室外蒸气	成人、儿童
下层土壤	吸入室内蒸气、吸入室外蒸气	成人、儿童
地下水	吸入室内蒸气、吸入室外蒸气	成人、儿童

2 结果与分析

2.1 第一层次风险评估

2.1.1 污染识别 场地环境调查、布点、采样和分析结果表明,场地土壤和地下水都受到不同程度的污染,土壤样品中检出的主要污染物为氯仿、四氯化碳、苯、氯苯、4-硝基苯胺、2-乙基己基酯等 32 种污染物,地下水样品中检出的主要污染物为苯、四氯化碳、氯苯、氯仿、4-氯二苯基醚、石油烃(C6~C9)等 48 种污染物。对土壤与地下水样品污染物浓度数据进行描述性统计分析,发现样品中污染物浓度离散程度大,呈非正态分布,这主要与场地的工业生产活动、污染介质的非均质性以及污染物的迁移性有关。

2.1.2 构建初步风险评估模型 第一层次风险评估在场地初步暴露概念模型的基础上计算污染物的筛选值时,单一污染物可接受致癌风险采用 10⁻⁶,可接受危害商设定为 1。计算中所涉及的受体暴露参数、土壤与地下水性质参数、空气及建筑物特征参数等模型参数,均按照《污染场地风险评估技术导则》(发布稿)中的参数推荐值进行设定,污染物的理化性质与毒性特征参数采用 HERA 软件中默认数据库,主要来源于美国环保署 IRIS 数据库、英国毒理学/致癌物委员会、改进的荷兰 RIVM 毒理参数等。

2.1.3 第一层次风险评估结果 利用 HERA 软件计算得到的土壤与地下水筛选值对污染物进行筛选,发现土壤中苯、氯苯、氯仿、四氯化碳、1,4-二氯苯、

4-硝基苯胺、2-乙基己基酯等 27 种污染物超过筛选值,地下水中苯、氯苯、氯仿、四氯化碳、4-氯二苯基醚、石油烃(C6 ~ C9、C10 ~ C14)7 种污染物超过筛选值。由于篇幅所限,本文选择超标率高、污染严

重的氯仿、四氯化碳、苯和氯苯 4 种污染物作为第二层次风险评估的研究对象。对所有土壤与地下水样品根据筛选值进行筛选统计各污染物的超标情况,第一层次风险评估的统计结果如表 3。

表 3 土壤与地下水中潜在关注污染物数据统计与初步风险评估结果
Table 3 Statistical summary and preliminary risk assessment of concerned potential chemicals in soil and groundwater

环境介质	关注污染物	样品总数	浓度范围	中位数	筛选值	超过筛选值的样品深度(m)	超标率(%)
土壤	氯仿	450	0.05 ~ 513.9	6.09	0.001 7	0 ~ 9	10.67
	四氯化碳	450	0.05 ~ 610.0	14.40	0.001 6	0 ~ 9	4.89
	苯	450	0.05 ~ 46.7	0.22	0.019	0 ~ 9	7.11
	氯苯	450	0.05 ~ 5 490.0	2.01	0.46	0 ~ 9	26.44
地下水	氯仿	16	0.000 5 ~ 359.6	0.004 9	0.009 4	9 ~ 18	37.5
	四氯化碳	16	0.000 5 ~ 2.7	0.20	0.003 3	9 ~ 18	18.75
	苯	16	0.000 5 ~ 5.5	0.052	0.083	9 ~ 18	25
	氯苯	16	0.000 5 ~ 48.6	0.28	0.7	9 ~ 18	37.5

注：土壤中污染物的浓度单位为 mg/kg，地下水中污染物的浓度单位为 mg/L，下表同。

2.2 第二层次风险评估

2.2.1 模型更新 进行第二层次风险评估时,需在第一层次风险评估模型的基础上细分土壤层次、更新暴露途径和模型参数。从第一层次风险评估的结果可知,0 ~ 9 m 土壤均受到不同程度的污染。考虑到本研究场地的污染物分布情况、不同质地的土壤理化性质的差异性及其对污染物迁移转化行为的影响^[22],根据土层的岩性及理化性质不同分层,将分别计算土壤第一层(0 ~ 1 m)、第二层(1 ~ 3 m)、第三层(3 ~ 5 m)、第四层(5 ~ 9 m)及地下水中关注污染物的修复目标值与单一污染物的致癌风险值与非致癌危害商。

模型中需要更新的参数从场地调查中获取,主要包括土壤或地下水中污染物的浓度、不同层次土壤的理化性质等特征参数、污染土层的厚度与深度、地下水的埋深、污染区近地面年平均风速,其余参数如受体暴露参数等则仍然采用《污染场地风险评估技术导

则》(发布稿)中的推荐值。

2.2.2 第二层次风险评估结果 土壤与地下水的修复目标值及样品统计结果如表 4 所示。采用样品总单一污染物的最大浓度进行风险或危害计算,风险表征结果如表 5 所示。

由表 4、表 5 可知,土壤中氯仿、四氯化碳、苯、氯苯均有不同程度的污染超标,且随着深度的增加,土壤污染程度越严重,超标点位越多,需要进行修复。以氯仿为例,0 ~ 1、1 ~ 3、3 ~ 5、5 ~ 9 m 土壤中修复目标值分别为 0.03、0.07、0.14、0.25 mg/kg,修复目标值随土壤深度的增加而增大,第一层与第四层土壤的差距在 1 个数量级以上。地下水中 4 种污染物均存在超标现象,其中氯仿污染最严重,致癌风险高达 1.11×10^{-3} ,非致癌危害商为 9.8,明显高于可接受的风险水平,四氯化碳、苯和氯苯的风险与危害稍高于可接受的风险水平。HERA 软件中同时还计算了单一

表 4 土壤与地下水中关注污染物的修复目标值
Table 4 Remedial targets of contaminants in soil and groundwater

环境介质	类别	氯仿	四氯化碳	苯	氯苯
土壤	0 ~ 1 m	修复目标值	0.03	0.05	0.35
		超标点位数	3	2	2
	1 ~ 3 m	修复目标值	0.07	0.30	0.90
		超标点位数	6	2	1
	3 ~ 5 m	修复目标值	0.14	0.46	1.69
		超标点位数	7	4	1
	5 ~ 9 m	修复目标值	0.25	0.79	2.99
		超标点位数	8	5	1
地下水(9 ~ 16 m)	修复目标值	0.32	0.51	3.43	21.80
	超标点位数	3	1	1	2

表 5 污染场地关注污染物的风险表征
Table 5 Summary of carcinogenic risks and non-carcinogenic hazards of concerned contaminants

关注污染物	类别	土壤				地下水 (9 ~ 16 m)
		0 ~ 1 m	1 ~ 3 m	3 ~ 5 m	5 ~ 9 m	
氯仿	风险值	1.70×10^{-2}	2.29×10^{-3}	1.02×10^{-3}	1.43×10^{-3}	1.11×10^{-3}
	危害商	154.36	20.24	9.02	12.65	9.80
四氯化碳	风险值	1.23×10^{-2}	2.97×10^{-5}	1.57×10^{-4}	3.38×10^{-4}	5.20×10^{-6}
	危害商	8 062.34	19.57	103.30	222.21	3.43
苯	风险值	1.18×10^{-4}	1.11×10^{-6}	2.76×10^{-5}	1.01×10^{-6}	1.60×10^{-6}
	危害商	4.46	0.03	0.87	0.03	0.06
氯苯	风险值	—	—	—	—	—
	危害商	327.02	22.73	268.50	12.74	2.23

污染物不同暴露途径的风险贡献率，结果表明，4 种挥发性的有机污染物的主导暴露途径均为呼吸吸入室内蒸气暴露途径，对总风险的贡献率范围为 98.41% ~ 99.98%。因此，对该类有机污染场地进行风险控制与管理时，应避免和减少吸入室内空气以降低污染物对人体产生的健康风险。

2.2.3 修复区域的确定 采用 ArcGIS 软件对环境介质中的污染物进行浓度空间插值，以表 4 中计算的修复目标值为基准进行属性提取，同时根据采样点的

检测结果与实际污染物超标点的分布情况对属性提取结果进行修正，对各土层与地下水中多种污染物的超标区域分别进行叠加，确定场地中土壤与地下水的修复区域，估算土壤与地下水的修复面积。土壤与地下水中污染物的超标点位与修复区域如图 3、图 4 所示。从图中可以看出，土壤的污染修复区域主要集中在危险品与成品仓库、贮罐区、污水处理区以及 3 号生产区；地下水则主要集中在危险品与成品仓库、贮罐区之间的 GW6 号点位，该点位 4 种污染物均存在超标现象。

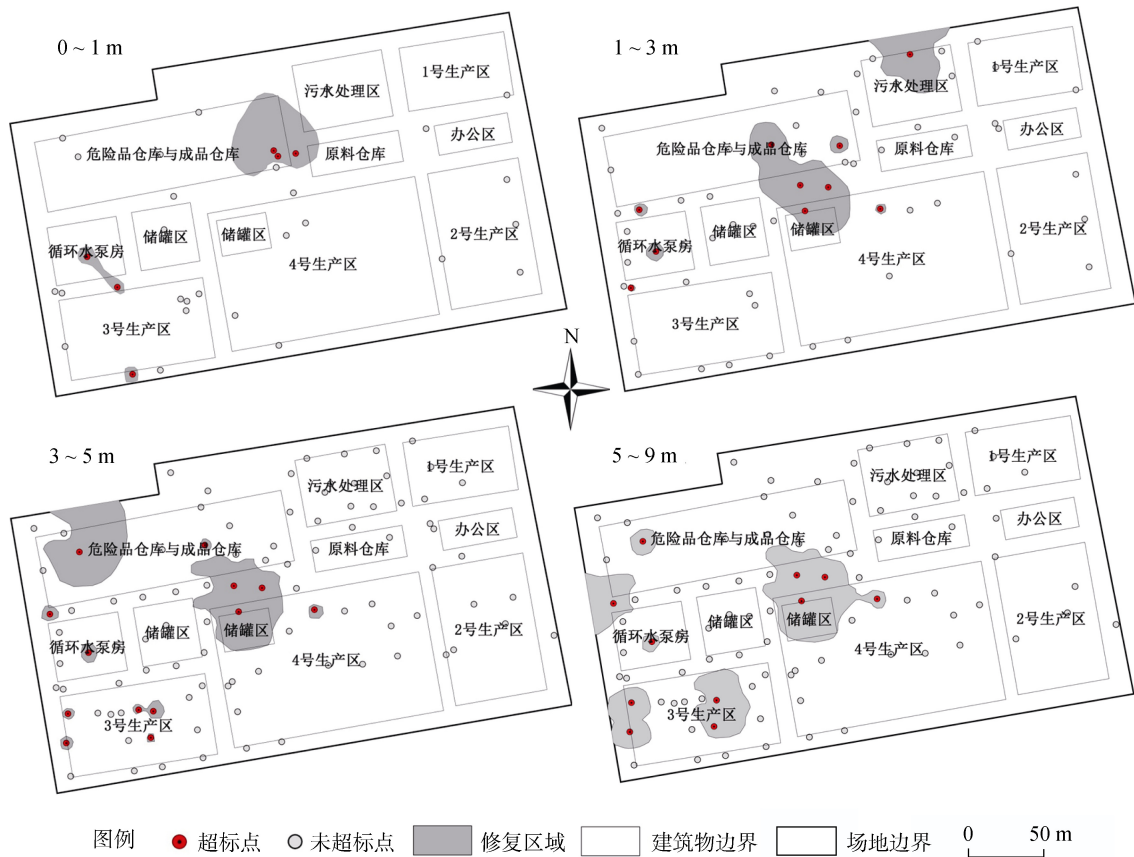


图 3 不同层次土壤修复区域
Fig. 3 Remediation areas at different soil depths

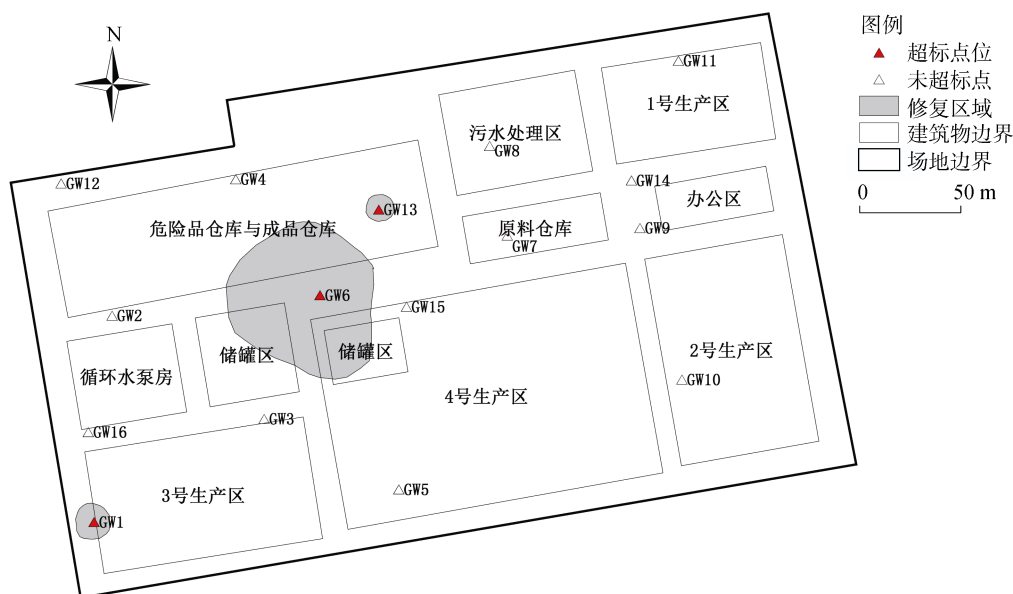


图4 地下水修复区域

Fig. 4 Remediation area of groundwater

根据图3、图4的插值结果,计算出各层次土壤与地下水的修复面积。其中0~1 m修复区域面积为3 264 m², 1~3 m修复区域面积为5 548 m², 3~5 m修复区域面积为6 894 m², 5~9 m修复区域面积为8 018 m²;地下水修复区域面积为4 714 m²。在地下水修复区域的估算中,由于地下水采样点位较少且水样为整个微承压含水层的混合样,4种污染物虽然超标点位少,但氯仿浓度高,对人体健康的风险水平高,因而采用插值方法估算修复区域时影响范围广。若需进一步确定超标区域面积,还需在超标点位与未超标点间增设采样点。

3 结论与建议

1) 场地重点污染区域相对集中,主要分布在危险品与成品仓库、贮罐区、污水处理区以及3号生产区;表层土壤污染程度最小,随着土层增加污染物浓度逐渐增大,生产过程中工艺管线的泄露、原料和产品存储泄露以及污水处理设施对周边环境的影响可能是造成污染的重要原因。

2) 场地土壤中污染物的修复目标值随着土层深度的增加而增大,增幅达到一个数量级以上,对后期采用原位修复技术的污染场地而言,对土壤进行分层风险评估可大大降低修复成本。对该类挥发性有机污染场地,其关注污染物的主导暴露途径为吸入室内蒸气,对总风险的贡献率超过98.41%。进行场地风险控制与管理时,应优先考虑减少呼吸吸入室内蒸气而暴露。

3) 针对我国南方地区存在多个含水层污染的有

机污染场地,需重视其特有的水文地质情况:潜水含水层水位浅、厚度薄、包气带土壤中多存在上层滞水,在构建场地风险评估模型时,应考虑到国内外现有评价模型的适用性,需要将潜水含水层作为包气带土壤进行假设。在现有评估模型中,采用保守的方式进行评估虽能保证风险的可控性,但可能导致修复范围的扩大,修复成本增加。

参考文献:

- [1] 杜喜臣. 化工行业环境风险评估方法的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2008
- [2] 陈梦舫, 骆永明, 宋静, 李春平, 吴春发, 韦婧, 罗飞. 场地含水层氯代烃污染物自然衰减机制与纳米铁修复技术的研究进展[J]. 环境监测管理与技术, 2011, 23(3): 85-89
- [3] 闫艳, 高杰, 李莉. 江苏四千余化工企业搬迁污染场地修复提上日程[N]. 中国环境报, 2012-04 [2014-03-10]. <http://www.med66.com/html/2008/8/ch53211274121880029030.html>
- [4] Geng CN, Luo QS, Chen MF, Li ZY, Zhang CB. Quantitative risk assessment of trichloroethylene for a former chemical works in Shanghai, China[J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2010, 16(2): 429-443
- [5] Chen M. Analytical integration procedures for the derivation of risk-based generic assessment criteria for soil[J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2010, 16: 1 295-1 317
- [6] Chen M. Alternative integration procedures in combining multiple exposure routes for the derivation of generic assessment criteria within the CLEA model[J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2010, 18(2): 135-150
- [7] 黄文彦. 污染场址健康风险评估之现状与趋势[A] // 第二届海峡两岸土壤及地下水污染与修复研讨会论文集[C].

- 北京: 中国地质学会, 2004
- [8] 唐秋萍, 张毅, 王伟. 化工企业拆迁场地健康风险评估[J]. 环境监控与预警, 2010, 2(4): 7-11
- [9] Wei J, Chen MF, Song J, Luo F, Han L, Li CP, Dong MG. Assessment of human health risk for an area impacted by a large-scale metallurgical refinery complex in Hunan, China[J]. Human and Ecological Risk Assessment. DOI:10.1080/10807039.2014.890479
- [10] 房吉敦, 杜晓明, 李政, 徐竹, 史怡, 李慧颖, 马妍, 杨宾, 李发生. 某复合型化工污染场地分地层健康风险评估[J]. 环境工程技术学报, 2013(5): 451-457
- [11] 钟茂生, 姜林, 姚珏君, 夏天翔, 朱笑盈, 韩丹, 张丽娜. 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
- [12] 罗飞, 宋静, 潘云雨, 韦婧, 黄玉娟, 吴春发, 骆永明. 典型滴滴涕废弃生产场地污染土壤的人体健康风险评估研究[J]. 土壤学报, 2012, 49(1): 26-35
- [13] 余世清, 唐伟, 卢滨. 某农药厂废弃场地六六六和滴滴涕污染分布特征及风险评估[J]. 环境科学, 2011, 32(9): 2 645-2 653
- [14] 姜林, 钟茂生, 梁竞, 姚珏君, 夏天翔, 樊艳玲, 李敬东, 唐振强. 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): 1 034-1 043
- [15] 丁琼, 余立风, 田亚静, 刘俐, 李发生. 某农药生产场地中特征 POPs 的环境风险研究[J]. 环境科学研究, 2010, 23(12): 1 528-1 534
- [16] 谌宏伟, 陈鸿汉, 刘菲, 何江涛, 沈照理, 孙静. 污染场地健康风险评估的实例研究[J]. 地学前缘, 2006, 13(1): 230-235
- [17] 中华人民共和国环境保护部. 污染场地风险评估技术导则(征求意见稿)[S]. 2009-09-29 [2014-03-10]. http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgth/200910/t20091022_175070.htm
- [18] United State Environmental Protection Agency. Soil Screening Guidance: Technical Background Document[S]. EPA/540/R95/128. Washington, DC USA: Office of Emergency and Remedial Response, 1996
- [19] 陈梦舫, 骆永明, 宋静, 李春平, 吴春发, 罗飞, 韦婧. 中、英、美污染场地风险评估导则异同与启示[J]. 环境监测管理与技术, 2011, 23(3): 14-18
- [20] 陈梦舫, 罗飞, 韩璐, 李春平, 韦婧, 董敏刚. 污染场地健康与环境风险评估软件(HERA, Version 1.0)[P]. 中国科学院南京土壤研究所, 2012
- [21] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 106-109, 266-290
- [22] 张大定, 曹云者, 汪群慧, 谢云峰, 柳晓娟, 李发生. 土壤理化性质对污染场地环境风险不确定性的影响[J]. 环境科学研究, 2012, 25(5): 526-532
- [23] Chang SH, Kuo CY, Wang JW, Wang KS. Comparison of RBCA and CalTOX for setting risk - based cleanup levels based on inhalation exposure[J]. Chemosphere, 2004, 56(4): 359-367

Health Risk Assessment of Soil and Groundwater for A Typical Organic Chemical Contaminated Site in Southern China

DONG Min-gang^{1,2}, ZHANG Jian-rong³, LUO Fei^{1,2}, HAN Lu^{1,2}, YAN Jing-chun¹, CHEN Meng-fang^{1*}

(1 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Suzhou Environmental Science Research Institute, Suzhou, Jiangsu 215007, China)

Abstract: Tiered human health risk assessment of soil and groundwater were undertaken for a typical organic chemical contaminated site in southern China. The screening levels and remediation targets of chemicals of concern (COCs) in soil and groundwater, as well as the corresponding remediation area were calculated. The results indicated that both soil and groundwater were contaminated by organic compounds with different levels. The derived remediation targets of chloroform, carbon tetrachloride, benzene, chlorobenzene were 0.03, 0.05, 0.35, 6.51 mg/kg in the 0 – 1 m soil layer; 0.07, 0.30, 0.90, 13.49 mg/kg in the 1 – 3 m soil layer; 0.14, 0.46, 1.69, 20.45 mg/kg in the 3 – 5 m soil layer; 0.25, 0.79, 2.99, 36.27 mg/kg in the 5 – 9 m soil layer, and 0.32, 0.51, 3.43, 21.80 mg/L in the groundwater, respectively. The soil contaminated points of chloroform, carbon tetrachloride and chlorobenzene, as well as their corresponding cancer risk or hazard index values were increased with the increase of soil depth. The contaminated area of groundwater were gathered together. The concentrations of four COCs in groundwater (GW6) were beyond their remediation targets, and chloroform was the most serious contaminant with cancer risk and hazard index of 1.11×10^{-3} and 9.8, respectively.

Key words: Organic chemical contaminated site; HERA; Remediation target; Health risk assessment of soil and groundwater; Tiered risk assessment approach