

中、英、美污染场地风险评估导则异同与启示

陈梦舫^{1,2}, 骆永明^{1,2,3}, 宋静^{1,2}, 李春平^{1,2}, 吴春发^{1,2}, 罗飞^{1,2}, 韦婧^{1,2}

(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, 江苏 南京 210008

2 中国科学院研究生院, 北京 100049, 3 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003)

摘要: 近年来, 随着国家“退二进三”旧城改造政策的实施, 全国几乎所有的大中城市正面临着大批多种污染行业企业的关闭和搬迁, 这些搬迁企业遗留场地都存在着不同程度的环境与健康风险。开展定量评估人体健康与生态环境风险是建立我国工业污染场地管理体系不可缺少的技术手段, 也是适合我国国情并走向可持续性(绿色)土壤与地下水修复及综合环境管理的必然发展方向。包括美国 and 英国在内的许多发达国家都在利用一种多层次的基于风险的评估技术框架来鉴定和管理污染场地。文章着重比较中、英、美场地风险评估技术导则的异同性及其对完善我国场地风险评估技术导则的启示。

关键词: 污染场地暴露评估; 通用评估基准; 风险基础上的校正行动; 污染场地风险评估技术导则

中图分类号: X820.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-2009(2011)03-0014-05

Comparison of USA, UK and Chinese Risk Assessment Guidelines and the Implications for China

CHEN Meng-fang^{1,2}, LUO Yong-ming^{1,2,3}, SONG Jing^{1,2}, LI Chun-ping^{1,2}, WU Chun-fa^{1,2}, LUO Fei^{1,2}, WEI Jing^{1,2}

(1. Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong 264003, China)

Abstract In recent years numerous industrial sites have been abandoned and are subject to relocating due to the implementation of governmental policy known as ‘Withdraw 2 Forward 3’ that aims to modernize old cities. These sites have been contaminated posing various degrees of health and environmental risks. Quantitative risk assessments play a significant role in the management and regulation of contaminated sites as they leads to a more sustainable (Green) soil and groundwater remediation. Many developed countries including the USA and UK utilize a multi-tiered risk-based framework and relevant guidance to manage and regulate contaminated sites. This paper provides detailed comparisons of USA, UK and Chinese Risk Assessment Guidelines with implications for China being given.

Key words Contaminated land exposure assessment (CLEA); Generic assessment criteria (GAC); Risk based correction assessment (RBCA); Chinese risk assessment guidelines (C-RAG)

随着我国城市化进程的加快和产业结构调整政策的实施, 工业场地土壤和地下水污染也日趋严重。近年来, 随着国家“退二进三”旧城改造政策的实施, 全国几乎所有的大中城市都面临着大批多种污染行业企业关闭和搬迁, 这些搬迁企业遗留场地都存在着不同程度的环境与健康风险。若不及时治理, 其遗留场地将会影响到我国饮用水安全、

收稿日期: 2011-04-25

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); 国家环境保护公益性基金资助项目 (2010467016, 201009032, 201109017)

作者简介: 陈梦舫(1964-), 男, 湖北洪湖人, 研究员, 博士生导师, 伦敦 2012 年奥运会高级环境顾问, C I W E M 全英污染场地网络顾问理事, 主要从事工业污染场地管理、土壤及地下水污染调查与修复、定量环境与健康风险评估等研究工作。

Email: m.fher@issas.ac.cn

生态安全和人居环境,进而对社会经济可持续发展构成严重威胁^[1-4]。

开展定量评估人体健康与生态环境风险是建立我国工业污染场地管理体系不可缺少的技术手段,也是适合我国国情并走向可持续性土壤与地下水修复及综合环境管理的必然发展方向。包括美国 and 英国在内的许多发达国家都在利用一种多层次的基于风险的评估框架来鉴定并管理污染场地^[5-6]。这种基于风险的评估框架应用描述污染物迁移转运机制的分析模型及人体暴露模型进行量化的风险评估。

根据法规所允许的风险目标,在评估初期计算出保守条件下保护人体健康的土壤与地下水污染物筛选值,随后在详细评估阶段利用场地实地参数将筛选值转化为修复目标值。英国用了 18 年,到 2009 年才完善了其风险评估导则 SR3^[7]并健全了其相关的模型与法规,到目前为止英国共公布了 11 种污染物的土壤筛选值;美国已有 30 多年的场地管理经验,其中,ASIM RBCA E2081^[5]风险评估技术导则已在美国 40 多个州得到成功的实施;此外,美、荷、英等国还分别开发了 RBCA 模型、RisHuman 模型及 CLEA 模型。我国虽然已于 2009 年颁布工业污染场地风险评估技术导则 C-RAG(报批稿)^[8],但还没有市场化的场地定量人体健康与环境风险评估的软件,以及相关暴露途经计算的科学依据。因此,当前我国急需开展制定和完善土壤和地下水风险评估导则的相关基础研究,

建立健全污染物在土壤-地下水环境中迁移转化的数值、分析模型框架和风险评估技术框架等,为我国“十二五”期间全面开展风险基础上的污染场地管理与修复提供科学依据与支撑。

现介绍风险评估的基本理论,重点比较中、英、美场地风险评估技术导则的异同性及其对完善我国场地风险评估技术导则的启示。

1 基于风险的导则与相关土壤筛选值

1.1 风险评估导则的特点

场地定量风险评估程序是一个多层次定性及定量的评估体系,也是一个概念模型与描述污染物运移的分析模型及暴露模型的综合体系^[9]。其作为场地环境管理与修复的核心,一方面可以指导场地调查的设计工作,以达到获取定量风险评估中所需参数的要求,另一方面通过风险评估将场地土壤与地下水修复引向成本低廉和基于风险的可持续性场地修复。

1.2 风险评估多层次结构

鉴于节省基金与达到绿色修复目标,各国制定风险评估一般都分为 2~4 个层次,风险管理与决策流程都注重将分阶段场地调查与分层次的风险评估相结合,将场地修复和监测纳入风险评估后的决策体系^[6]。根据英美污染场地风险评估层次结构,风险评估可分为 4 个层次,并且每阶段都要进行风险评估流程确定污染场地风险,见图 1。

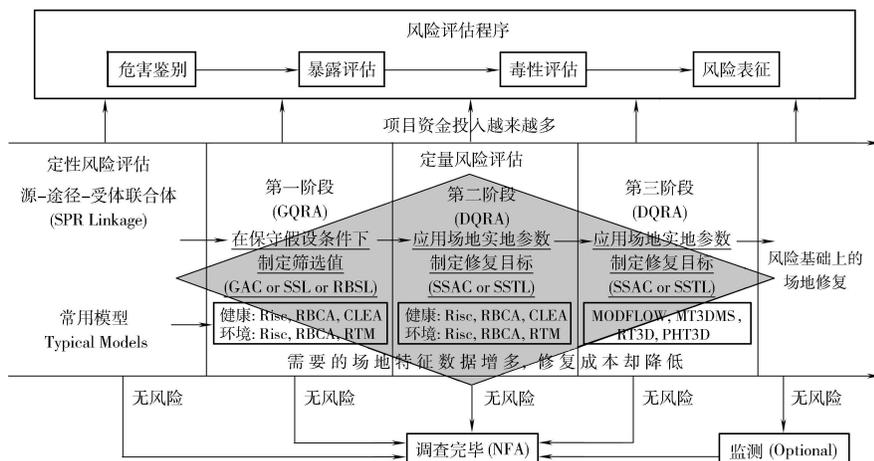


图 1 污染场地风险评估流程

Fig 1 Contaminated site risk assessment protocol

1.2.1 定性场地风险评估

主要以收集区域与场地地质、水文地质与水文资料、现场勘察与人员面谈为主,查明场地废物管理及化学品储存和使用清单、泄露记录、场地利用变迁资料、场内与周边健康与环境敏感受体,并考虑将来的土地利用,查明是否有污染传播途径将污染源与敏感受体联成一体,从而建立初步场地概念模型 (Preliminary Conceptual Site Model)。

1.2.2 第一阶段定量场地风险评估

详细环境地质调查以获取风险评估关键参数为基准,主要以采样与化学分析为主,查明场地内与周边敏感受体、场地土壤与地下水含水层特征,布置取样点并建立土壤气体与地下水监测点。通过抽水实验获取含水层渗透系数,通过地下水监测确定地下水流向,确认污染物种类及其自然衰减产物、浓度和空间分布。并在此基础上建立场地暴露与水文地质概念模型,进行第一阶段场地定量风险评估并计算通用评估标准或者风险筛选值^[10-12]。详细环境地质调查与第一阶段定量场地风险评估的目的在于筛选掉无风险的污染物,使第二阶段的风险评估具有针对性,以免增加不必要的工作量与经费,并确定是否需要辅助环境地质调查。此阶段可使用国家颁布的土壤筛选值或者使用模型来计算土壤筛选值。

1.2.3 第二阶段定量场地风险评估

在辅助环境地质调查的基础上,更新场地暴露与水文地质概念模型,应用场地实地参数,推算特定场地评估标准或场地修复目标水平。一般场地土壤污染的风险评估工作在此阶段可以完毕。

1.2.4 第三阶段定量场地风险评估

以地下水数值模型及水文地球化学模型为基础和工具,进一步更新场地暴露与水文地质概念模型,建立地下水数值模型,并进行均衡分析,确定边界条件和起始地下水水位与污染物浓度值,开展校正及模型敏感性分析。应用模型研究污染物在地下水的污染成因、过程及机制,制定具有科学依据与风险基础上的实地地下水修复标准^[13],为风险基础上的场地修复提供必要的技术参数。

随着评估层次的深入,评估的复杂程度增加,需要调查的场地特征参数也有所增加,选择的模型更为复杂,评估成本相应增加,但不确定性下降,修复的费用可能会降低。我国风险评估技术导则需要强调多层次及水环境评估的重要性,要理清筛选

值与修复目标的关系。

1.3 国际土壤筛选值

很多国家在制定风险评估导则的基础上相继颁布了用于早期场地评估的土壤筛选值。由于制定地下水筛选值的实地性较强,一般只制定地下水筛选值的技术方法,至今只有少数国家与地区颁布了针对评估地下水的土壤筛选值。在欧洲比较有影响的是荷兰干预值,英国 2002 年公布土壤指导限值之前荷兰干预值也有广泛的应用。在美国使用较多的是 USEPA 3 区基于风险的浓度和 9 区的初期修复目标,2009 年 USEPA 统一制定了区域筛选值。另外美国德克萨斯州也制定了基于 ASTM RBCA E2081 上的保护浓度限值。这些筛选值的共同特点是在尽量保守的条件下制定的,适合于风险评估初期阶段的污染物筛选。从风险评估的多层次结构来看,这些筛选值不能直接用来作为修复目标,在我国颁布土壤筛选值之前也不能直接使用,其中一个原因是中国人的体重较轻,在同等保守条件下计算出来的土壤筛选值相对要低一些。因此国际上常用的土壤筛选值在未经过调整时不适合在中国直接应用。

2 中英美污染场地风险评估技术导则的比较

中国的风险评估技术导则 (C-RAG)、英国的 CLEA 导则报告 (SR3) 及美国的 ASTM RBCA E2081 有很多相似之处,特别是在场地暴露概念模型,多层次评估框架,计算方法等方面^[5-8]。但根据各国的特定情况,这些导则也存在许多差异。

2.1 暴露概念模型

英国土地利用有 4 个类型:居住用地,居住用地(含花园),工业用地及蔬菜用地,各种土地利用类型都有相关的暴露概念模型与参数;美国大致分为 2 种土地利用类型:工业与居民用地。我国风险评估技术导则 (C-RAG) 将土地利用分为住宅类用地、工业用地及其他用地,缺少农业用地类型及进一步的细分。从暴露途径来看,C-RAG 与美国 ASTM RBCA E2081 基本一致,而与英国 CLEA-SR3 相比,缺少花园蔬菜摄入暴露途径。英国 CLEA-SR3 中的暴露途径比较全面,还包括了 ASTM RBCA E2081 中没有的室内皮肤接触土壤与颗粒物吸入暴露途径。C-RAG 没有涉及到地下水风险评估,而英国地下水风险评估是单独在 RTM (Remedial Target Methodology) 导则中实施

的^[13]。中、英、美三国风险评估模型的暴露途径比较见表 1。

表 1 中、英、美三国风险评估技术导则的暴露途径比较
Table 1 Comparison of exposure pathways in USA, UK and Chinese risk assessment guidelines

暴露途径	美国 ASTM	中国	英国
	RBCA E-2081	C-RAG	CLEA (SR3)
土壤经口摄入	✓	✓	✓
花园内蔬菜摄入	✗	✗	✓
皮肤接触土壤	✓(无室内)	✓(无室内)	✓(包括室内)
吸入室内土壤灰尘	✗	✓	✓
吸入室外土壤灰尘	✓	✓	✓
吸入室内土壤和地下水蒸气	✓	✓	✓(只有土壤)
吸入室外土壤和地下水蒸气	✓	✓	✓(只有土壤)
土壤淋溶	✓	✓	✗

2.2 技术算法

从土壤健康风险计算方法来看,中英美评估导则之间的差异主要体现在室内外空气吸入暴露途径。美国 ASTM RBCA E-2081 导则中的室内挥发

污染物侵入暴露途径使用在有压差和无压差驱动流情景下的 Johnson & Ettinger 模型,而英国 CLEA-SR3 选择了较为保守的有压差驱动流情景下的 Johnson & Ettinger 模型。C-RAG 采纳了无压差驱动流情景下的简易 Johnson & Ettinger 模型^[14]。

我国风险评估技术导则(C-RAG)中的室外吸入暴露途径的计算方法与美国 ASTM RBCA E-2081 导则一致,都采用了表层和亚表层公式。而英国 CLEA-SR3 导则推荐了美国环保局的大气扩散模型(USEPA Q/C Model)。此模型可根据场地所在的地理环境及气象条件,使用大气扩散模型计算实地扩散系数(Q/C)、室外空气中的污染物及颗粒物浓度。而 C-RAG 给颗粒物浓度定值,不具有现实性。建议 C-RAG 使用 USEPA Q/C 模型^[9],并依据我国大气专项中研究成果,在我国大中城市制定相关的 Q/C 值,以便满足不同区域的场地评估的参数需求。中、英、美三国风险评估模型在不同暴露途径下的技术算法的比较见表 2。

表 2 中、英、美三国风险评估技术导则不同暴露途径的技术算法的比较

Table 2 Comparison of technical algorithms of different exposure pathways in USA, UK and Chinese risk assessment guidelines

暴露途径	美国 ASTM RBCA E-2081	中国 C-RAG	英国 CLEA (SR3)
经口摄入		一致	
摄入自产蔬菜	否	否	是
皮肤接触		一致(USEPA 皮肤吸收方法)	
室内空气吸入		Johnson & Ettinger 模型 ^[15]	
室外空气吸入	压差和无压差驱动流	无压差驱动流	压差驱动流
颗粒物/灰尘	一致(表层和亚表层公式)		USEPA Q/C 模型
土壤淋溶到地下水	质量平衡方法	(已知颗粒物浓度)	
地下水侧向迁移	基于地下水饮用标准或地表水环境质量标准或毒性	基于地下水饮用标准	没有考虑
	是	没有考虑	没有考虑

2.3 主要参数的选定

我国风险评估技术导则(C-RAG)需要完善的主要内容是参数的本土化,其中主要参数为土壤类型、暴露参数、建筑物参数及具有政策导向的致癌风险目标。

土壤类型对挥发物室内吸入是对综合土壤筛选值及修复目标贡献最大的暴露途径,其贡献若占 95% 以上,其关键性参数为挥发渗透性。RBCA E2081 和 CLEA-SR3 导则有 9 种土壤类型,并推荐含沙质土壤作为计算土壤筛选值及修复目标的

土壤类型^[15-7]。与土壤类型相比,建筑物参数对综合土壤筛选值及修复目标的计算敏感性较强,特别是室内外压差、地基裂缝比率、高度、空气交换率等。C-RAG 中的土壤类型不太明确,建筑物参数基本来源于美国的推荐值,都没有反应我国土壤类型丰富及建筑物的特点。C-RAG 中的敏感人群只有儿童与成人。英国 CLEA-SR3 暴露人群及参数细分为 17 个年龄段,其中 0~6 岁段为儿童,17 岁段为成人,每个年龄段都制定了相关暴露参数,如人体质量、身高、土壤摄入量;美国 ASTM

RBCA E-2081 将暴露人群划分为儿童、青年与成人。我国需要对不同土地利用类型中的敏感人群进行基础理论研究, 并制定适合我国特点的暴露参数。

从致癌风险目标的选定来看, 不同国家使用的目标也不一致, 见表 3。荷兰建议用比较宽松的 10^{-4} ; 英国没有制定致癌风险目标, 而实际工作中一般使用 10^{-5} ; 我国 C-RAG 与美国 ASTM RBCA E2081 一致, 都推荐使用 10^{-6} 为单一污染物风险目标, 而 ASTM 还选择 10^{-4} 为累积污染物风险目标。我国是一个发展中国家, 从修复费用的角度来考虑, 使用 10^{-4} 或者最小 10^{-5} 较为合理。

表 3 中英美荷风险评估技术导则中致癌风险目标的比较

Table 3 Comparison of cancer target risk levels in USA, UK, Dutch and Chinese risk assessment guidelines

国家	导则	目标风险水平	评论
荷兰	RVM 干预值	10^{-4}	比较宽松
英格兰和威尔士	SGV 报告	多种 10^{-5} , 没有累积目标风险水平值	中等
美国	USEPA 土壤筛选值导则 (SSG)	单个: 10^{-6} ; 累积: 10^{-4}	保守
中国	C-RAG	10^{-6}	

3 结语

我国风险评估技术导则 (C-RAG) 与 ASTM RBCA E2081 和 CLEA SR2 类似, 故经过修改, RBCA 和 CLEA 软件都适合在中国应用。

(1) 国际土壤筛选值, 比如荷兰干预值, 美国区域筛选值和英国土壤指导值, 不经过校正, 不适合在中国直接应用。

(2) 建议采用有压差驱动流情景下的 Johnson & Ettinger 模型预测挥发性侵入室内的浓度。

(3) 建议采用 USEPA Q/C 模型预测室外挥发物及颗粒物浓度, 并依据我国大气专项中研究成果, 在我国大中城市制定相关的 Q/C 值, 以便满足不同区域的场地评估的参数需求。

(4) 我国污染场地风险技术评估导则需要进行众多基础研究和完善, 如土地利用类型和暴露因子, 土壤类型和相关参数、建筑物参数等。

(5) 污染场地风险评估要从健康与环境两个角度来考虑, 需要制定地下水风险评估导则。

[参考文献]

- [1] 李广贺, 李发生, 张旭, 等. 污染场地环境风险评价体与修复技术体系 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010
- [2] 骆永明. 污染土壤修复技术研究现状与趋势 [J]. 化学进展, 2009, 21(2/3): 558-565.
- [3] 姜建军. 中国地下水污染现状与防治对策 [J]. 环境保护, 2010(10): 16-17.
- [4] 薛禹群, 张幼宽. 地下水污染防治在我国水体污染控制与治理中的双重意义 [J]. 环境科学学报, 2009, 29(3): 474-481.
- [5] ASTM (American Society for Testing and Materials). Standard guide for risk based corrective action Report E2081 [R]. West Conshohocken PA, USA: 2000.
- [6] DEFRA and EA (Department of environment food and rural affairs and the environment agency). Model procedures in managing land contamination. Contaminated land report (CLR) 11 [R]. Bristol UK: 2004.
- [7] EA (Environment agency in england and wales). Updated technical background to the CLEA model Science report SC050021/SR3 [R]. Bristol UK: EA, 2009
- [8] 环境保护部. 污染场地风险评估技术导则 (征求意见稿) [EB/OL]. 北京: 环境保护部, (2009-10-22) [2011-03-21]. http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgth/200910/t20091022_175070.htm.
- [9] USEPA (US Environmental Protection Agency). Soil screening guidance. Technical background document EPA/540/R95/128. Office of solid waste and emergency response Washington, DC, USA [R]. 1996.
- [10] CHEN M. A ltemative integration procedures in combining multiple exposure routes for the derivation of generic assessment criteria with the CLEA model [J]. Journal of Land Contamination and Reclamation, 2010, 18: 135-150
- [11] CHEN M. Analytical integration procedures for the derivation of risk based or generic assessment criteria for soil [J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2010, 16: 1259-1317
- [12] 陈梦舫, 骆永明, 宋静, 等. 场地基准建立的理论、方法和常用模型 [J]. 环境监测与管理技术, 2011, 23(3): 14-18
- [13] EA (Environment Agency in England and Wales). Remedial target methodology: Hydrogeological risk assessment for land contamination [R]. the Environment Agency, Bristol UK: EA, 2006.
- [14] EA (Environment Agency in England and Wales). CLEA software (Version 1.04) handbook Science report SC050021/SR4 [R]. Bristol UK: EA, 2009.
- [15] JOHNSON P, ETTINGER R. Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapours into buildings [J]. Environ Sci Technol, 1991, 25(8): 1445-1452.