

某电镀搬迁场地土壤重金属污染健康风险评估

周鼎¹, 周建民², 彭晓春², 龚道新^{1*}, 洪鸿加², 李方鸿¹

(1.湖南农业大学资源环境学院, 湖南 长沙 410128; 2.环境保护部华南环境科学研究所, 广东 广州 510000)

摘要:采用《污染场地风险评估技术导则》中的评估方法, 运用 HERA 软件对广州某电镀搬迁场地土壤中的重金属污染物进行人体健康风险评估。结果表明: ①该场地土壤中铬(Cr^{6+})和镍的致癌风险指数分别为 1.92×10^{-6} 、 2.31×10^{-6} , 均超过其评估标准值 1×10^{-6} , 表明其对人类有较高的致癌风险。②该场地土壤中铬(Cr^{3+})、镍、铜、银的非致癌危害熵分别为 16.7、20.8、4.68、1.48, 均高于其基准值 1, 表明该场地土壤中的铬(Cr^{3+})和镍有较高的非致癌危害, 铜和银具有一定的非致癌危害。③根据评估结果, 提出了加强治理防护工作、根据目标污染物含量和位置分布确定修复重点区域、防治污染物扩散等管理、修复与治理该场地的建议。

关键词: 电镀搬迁场地; 土壤重金属污染; 致癌风险指数; 非致癌危害熵

中图分类号: X502.3

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2014)03-0321-04

Health risk assessments of soil polluted by heavy metals at a site of relocated electroplating

ZHOU Ding¹, ZHOU Jian-min², PENG Xiao-chun², GONG Dao-xin^{1*}, HONG Hong-jia², LI Fang-hong¹

(1.College of Resource and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510000, China)

Abstract: Health risk assessments of soil polluted by heavy metals were conducted at a relocated electroplating site in Guangzhou using HERA package according to the methods from "Guidelines for Risk Assessment of Contaminated Sites". The results showed that: ① the carcinogenic risk index of chromium(Cr^{6+}) and nickel in soil at this site were 1.92×10^{-6} and 2.31×10^{-6} respectively, both higher than the regulated critical values of 1×10^{-6} , which suggested they had higher carcinogenic risk. ② the non-carcinogenic hazard quotient of four kinds of heavy metals, namely, chromium(Cr^{3+}), nickel, copper, silver were 16.7, 20.8, 4.68, and 1.48 respectively, they all exceeded the base value of 1. These indicated that chromium(Cr^{3+}) and nickel had higher level of non-carcinogenic hazard in soil, and copper and silver had non-carcinogenic hazard in certain degree. ③ According to the assessments results, we proposed a series of suggestions for the site management and restoration, such as how to determine the kernel repaired areas based on the content and distribution of pollutants, how to prevent these pollutants from spread, how to strengthen the protection and management of this site, and so on.

Key words: relocated electroplating site; soil heavy metals pollution; carcinogenic risk index; quotient of non-carcinogenic hazard

土壤污染及其潜在风险已经引起了世界各国的高度重视。土壤中重金属污染物对人体健康具有急性或慢性毒性, 在环境中长期停留和积累, 通过口腔、呼吸摄入和皮肤吸收等途径, 可直接引发

人体产生各种疾病, 如致突变、致畸形、致癌等^[1-4]。健康风险评估是估计污染场地对人体健康的危害程度^[5-6]。多数发达国家通过立法来规范污染场地的环境管理, 形成了较为完备的污染场地风险评估

体系。随着中国城市化的快速发展,对废弃场地的再利用已成为中国可持续发展的重要课题,而对废弃场地进行利用通常要首先进行人体健康风险评估^[7-8]。本研究中以《污染场地风险评估技术导则》中的环境健康风险评估方法^[9]为基础,对广州某乡镇电镀搬迁场地土壤中的重金属残留污染物进行人体健康风险评估,旨在为染污场地的有效修复与治理及合理开发利用提供参考。

1 研究地概况

研究场地为以电镀工业为主的广州某乡镇电镀城(现已迁往他处)。电镀城于 1994 年建成投产,占地面积约 20 000 m²。电镀城内共有电镀企业 37 家(含部分分车间,实际企业 33 家),电镀种类主要为镀镍、铜、铬、锌等(占 74%)。电镀城所用的主要原料为铬、镍、铜、锌、氰化物、铬酐、光亮剂、HCl 等。电镀城污水处理站的污水处理规模为 250 t/d。污水处理方法主要为化学还原法。该方法的处理工艺较为简单、落后,污水处理排污管道等配套设备年久失修,环境监管不够严格,污染物排放不达标和乱排放等现象比较严重。电镀场迁走后的残余废弃物较多。

2 方法

2.1 取样方法

采用系统分区布点法于整个场地布设监测点位,在污水处理厂等环境污染健康风险较大的区域进行加密布点。于表层土壤至地下水水面间分 3 层(0~<50 cm、50~<100 cm、100 cm 至地下水水面)采集土壤样品 105 个,将各点位各层次土壤样品混合后采取四分法留样,分袋标记。将土壤样品自然风干,去除植物枝叶、根系和石头等杂质,充分研磨后过 0.15 mm 尼龙网筛,由通标标准技术服务有限公司对土壤样品中的重金属含量进行测定。

2.2 土壤污染评估值的选取

本电镀搬迁场的规划用地性质为居住用地。中国现已颁布的《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)仅适用于农田、蔬菜地、茶园、牧场、林地、自然保护区等的土壤,本研究场地不在其评估范围。笔者将荷兰的土壤环境质量评估标准^[10]与中国《土壤环境质量标准》(修订草案)^[11]及北京

市《场地土壤环境风险评估筛选值》(DB11/T811—2011)^[12]进行对比后,选取中国和荷兰土壤评估标准中要求较严格的评估值作为本次评估的标准值(表 1),如果土壤样品重金属含量的最大值高于标准值,则将该重金属纳入此次健康风险评估的范围。中国评估标准中 Cr⁶⁺含量的评估标准值为 5.0 mg/kg,所以,本研究中以 5.0 mg/kg 作为 Cr⁶⁺含量的评估标准值。

表 1 中国和荷兰土壤重金属含量评估标准值及本研究中的评估值

Table 1 Comparison the quality standard value of heavy metals in ambient soil between China and Holland and the evaluation value used in the study

评估标准	重金属含量/(mg·kg ⁻¹)						
	镉	铬	铜	铅	镍	锌	银
荷兰评估标准体系	12	380	190	530	210	720	15
中国评估标准体系	10	400	300	300	150	500	
本研究评估标准	10	380	190	300	150	500	15

2.3 风险评估方法

采用《污染场地风险评估技术导则》中规定的程序、方法、推荐模型及参数,运用 HERA 软件对土壤中铬(Cr⁶⁺)、铬(Cr³⁺)、铜、锌、镍、银等重金属的含量进行分析,比照 IARC^[13]、IRIS^[14]中对致癌物质的分类,计算研究场地土壤中铬(Cr⁶⁺)、铬(Cr³⁺)、铜、锌、镍、银等重金属污染物的致癌风险指数和非致癌危害熵(致癌风险指数=暴露剂量×致癌斜率因子;非致癌危害熵=暴露剂量/参考剂量)。受关注重金属污染物的部分毒性参数见表 2。

表 2 受关注重金属污染物的毒性参数

Table 2 Toxicity parameters of pollutants		mg/(kg·d)			
序号	重金属	呼吸吸入 致癌斜率因子	经口摄入 参考剂量	呼吸吸入 参考剂量	皮肤接触 参考剂量
1	Cr ⁶⁺	4.20×10 ¹	3.00×10 ⁻³	2.86×10 ⁻⁵	3.00×10 ⁻³
3	Cr ³⁺		1.50×10 ⁰	2.86×10 ⁻⁵	1.50×10 ⁰
4	铜		4.00×10 ⁻²	2.86×10 ⁻⁴	4.00×10 ⁻²
5	锌		3.00×10 ⁻¹		3.00×10 ⁻¹
6	镍	1.68×10 ⁰	2.00×10 ⁻²	2.57×10 ⁻⁵	2.00×10 ⁻²
7	银		5.00×10 ⁻³	2.86×10 ⁻⁶	5.00×10 ⁻³
8	镉	6.30×10 ⁰	1.00×10 ⁻³		1.00×10 ⁻³

2.4 数据处理

采用 Excel 2007、HERA(v1.0.1)进行数据分析。HERA 软件包括美国 ASTM RBCA 2081、英国 CLEA 导则及中国《污染场地风险评估技术导则》

中的主要评估模型,具有界面设计合理、功能齐全、稳定性高和操作友好等特点,能快速构建污染场地概念模型,将其与中国《污染场地风险评估技术导则》配套使用,有利于今后中国本土化使用。

3 结果与分析

3.1 场地土壤样品的主要重金属含量

将采集样品中的重金属含量平均值与本研究选取的评估标准值(表1)进行比对后,发现在 105

个土壤样品中,镉、铅含量未超标,场地中的主要污染物为铬、铜、镍,银、锌在个别土壤样品中的含量很高。表 3 中受关注重金属,铬(Cr^{6+})的超标率最高,达 33.33%,属于场地中的最主要污染物。锌与银的超标率最低,均为 1.9%,且银、锌的最大超标倍数分别为 1.29、60.2,说明场地中只有个别区域存在锌含量严重超标的现象,而银的污染区域和污染剂量均较小。

表 3 场地 105 个土壤样品中受关注重金属的含量

Table 3 Content of the interested heavy metals at site soil samples

重金属	最小值/(mg·kg ⁻¹)	最大值/(mg·kg ⁻¹)	平均值/(mg·kg ⁻¹)	评估值/(mg·kg ⁻¹)	超标率/%	最大超标倍数
Cr ⁶⁺	0.25	41.10	4.53	5.00	33.33	8.22
Cr ³⁺	4.50	2 580.00	135.21	380.00	8.57	6.79
铜	5.90	7 240.00	204.49	190.00	13.33	38.11
锌	3.90	30 100.00	340.82	500.00	1.90	60.20
镍	2.40	2 900.00	136.39	150.00	8.57	19.33
银	0.05	19.40	1.88	15.00	1.90	1.29
镉	0.01	5.11	0.21	10.00	0.00	
铅	4.20	154.00	19.54	300.00	0.00	

3.2 场地土壤重金属的健康风险评估

目前只能查到吸入空气中土壤颗粒途径的致癌斜率因子参数,而误食土壤和皮肤吸收等途径的致癌风险参数至今没有权威的认证结果可供参考。将本研究结果与文献[13]、[14]进行比对,发现场地中铬(Cr^{6+})和镍将会对人体产生致癌风险。

经计算, Cr^{6+} 的通过吸入室内、室外土壤颗粒物等暴露途径的致癌风险指数分别为 1.59×10^{-6} 、 3.30×10^{-7} ; 镍的通过吸入室内、室外土壤颗粒物等暴露途径的致癌风险指数分别为 1.91×10^{-6} 、 3.98×10^{-7} 。将土壤中重金属污染物的致癌风险指数按各

暴露途径相加,铬(Cr^{6+})和镍基于人体健康的致癌风险指数分别为 1.92×10^{-6} 和 2.31×10^{-6} ,都高于其风险阈值(1×10^{-6}),表明该场地中的铬(Cr^{6+})和镍具有一定的致癌风险。

理论上,该场地中 6 种超标重金属污染物均会对该场地的人类活动造成一定的危害。由 6 种超标重金属污染物的非致癌危害熵(表 4)可知,除铬(Cr^{6+})和锌外,其余 4 种重金属污染的非致癌危害熵均大于其基准值 1,说明该场地土壤中的铬、铜、镍和银对该场地的人类活动具有非致癌危害。

表 4 场地中土壤重金属各暴露途径的非致癌危害熵

Table 4 Quotient of non-carcinogenic hazard of heavy metal pollutants in various exposure ways at site soil

重金属	非致癌危害熵						基于人体健康的非致癌危害熵
	经口摄入土壤途径	皮肤接触土壤途径	食用农作物途径	吸入室内土壤颗粒物途径	吸入室外土壤颗粒物途径	土壤淋滤到地下水途径	
Cr ⁶⁺	1.03×10^{-3}	2.53×10^{-5}	2.88×10^{-6}	2.20×10^{-1}	4.57×10^{-2}	1.25×10^{-4}	2.67×10^{-1}
Cr ³⁺	1.56×10^{-4}	3.81×10^{-6}	4.33×10^{-7}	1.38×10^1	2.87×10^0	1.88×10^{-5}	1.67×10^1
铜	6.59×10^{-4}	1.61×10^{-5}	2.19×10^{-4}	3.87×10^0	8.06×10^{-1}	9.49×10^{-3}	4.68×10^0
锌	1.82×10^{-3}	4.44×10^{-4}	1.50×10^{-3}			6.52×10^{-2}	6.89×10^{-2}
镍	1.78×10^{-3}	4.37×10^{-5}	4.75×10^{-5}	1.72×10^1	3.59×10^0	2.06×10^{-2}	2.08×10^1
银	7.80×10^{-5}	1.91×10^{-6}	5.20×10^{-3}	1.04×10^0	2.16×10^{-1}	2.25×10^{-1}	1.48×10^0

4 结论与讨论

本研究场地土壤中铬(Cr^{6+})和镍的致癌风险指数分别为 1.92×10^{-6} 和 2.31×10^{-6} , 均高于其风险阈值 1×10^{-6} , 表明该场地中的重金属污染对人类具有一定的致癌风险。场地土壤中的铬(Cr^{3+})、镍、铜、银的非致癌危害熵分别为 16.7、20.8、4.68、1.48, 均高于其基准值 1, 表明场地中的重金属污染对人类具有一定的非致癌危害。

该场地土壤中的锌虽然超标, 但评估结果表明其既不具有致癌危险, 也不具有非致癌危害。其原因可能是该场地土壤中只有个别区域锌含量超标, 锌在整个场地中并不构成健康风险, 也可能是本研究中的评估方法还不够完善。

本研究中受关注的 6 种重金属中, 除铜外的其余 5 种重金属的平均含量均没有高于评估值, 而除锌外的 5 种重金属都存在致癌风险或者非致癌危害, 说明本研究中根据场地情况确定的标准评估值与《污染场地风险评估技术导则》中提出的程序、方法、推荐模型及参数并不完美契合, 评估标准还需要改进和完善。

综上所述, 对本研究中场地的修复和管理应着重做好如下方面的工作:

1) 参考健康风险评估结果和目标污染物的性质及毒理参数, 切实加强防护工作。

2) 确定修复范围及修复土方时, 应根据各目标污染物在土壤中的含量高低和位置分布来确定修复重点区域。

3) 应尽量避免雨季施工, 构建引流沟, 做好雨水引排工作, 防雨水冲刷导致污染物扩散, 此外还要防止尘土随风飞扬造成二次污染。

参考文献:

- [1] 张红振, 骆永明, 章海波, 等. 基于 REC 模型的污染场地修复决策支持系统的研究[J]. 环境污染与防治, 2011, 33(4): 66-70.
- [2] 郭笑笑, 刘丛强, 朱兆洲, 等. 土壤重金属污染评估方法[J]. 生态学杂志, 2011, 30(5): 889-896.
- [3] USEPA. Risk assessment guidance for superfund Vol 1: Human health evaluation manual[R]. Washington D C: EPA/540//1-89/002, Final Report, 1989.
- [4] Congress of United States. Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act[DB/OL]. <http://www.epa.gov>, [2014-01-02](2014-03-15).
- [5] 张广鑫, 邵春岩, 陈辉. 重金属污染场地风险评估与治理技术体系研究[J]. 环境保护科学, 2013, 38(6): 37-40.
- [6] 钟政林, 曾光明, 杨春平. 环境风险评估研究综述[J]. 环境与开发, 1998, 13(1): 39-41.
- [7] 柳伟, 叶路生, 罗海霞, 等. 健康风险评估在污染场地土地再利用中的案例探讨[J]. 安徽农业科学, 2013(3): 1207-1208.
- [8] 张红振, 骆永明, 夏家淇, 等. 基于风险的土壤环境质量标准国际比较与启示[J]. 环境科学, 2011, 32(3): 795-803.
- [9] 《污染场地风险评估技术导则》(征求意见稿)[S].
- [10] 627 Environment quality standards in the Netherlands [S]. 1999.
- [11] GB 15618—1995 土壤环境质量标准(修订草案)[S].
- [12] DB11/T 811—2011 场地土壤环境风险评估筛选值[S].
- [13] WHO. Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1-106[DB/OL]. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf>, [2014-01-03](2014-03-15).
- [14] US EPA. Integrated Risk Information System[DB/OL]. <http://www.epa.gov/iris/>, [2014-01-05](2014-03-15).

责任编辑: 王赛群

英文编辑: 王 库