

Summary of Cadmium Contaminated Site Remediation Technology

Ting Kou

Beijing Geology Development Company, Beijing
Email: kt2110@163.com

Received: Mar. 17th, 2019; accepted: Apr. 1st, 2019; published: Apr. 8th, 2019

Abstract

In recent years, with the continuous advancement of national urbanization work, the deepened and reformed industrial structure, scarce resources, and some migrated and closed down industrial enterprises, result in a large number of sites with environmental risks. This paper focuses on the status quo of heavy metal cadmium contaminated sites, reviews the physical, chemical and bioremediation technologies of cadmium contaminated soil, analyzes the advantages and disadvantages of each repair technology, and points out that it is still necessary to develop scientific, efficient and comprehensive control technologies in the future.

Keywords

Cadmium Pollution, Repair Technology, Place

镉污染场地修复技术综述

寇 婷

北京市地质矿产勘查开发总公司, 北京
Email: kt2110@163.com

收稿日期: 2019年3月17日; 录用日期: 2019年4月1日; 发布日期: 2019年4月8日

摘 要

近些年, 随着国家城市化工作不断推进, 产业结构深化改革调整, 土地资源紧缺, 一些工业企业迁移、倒闭产生了大量存在环境风险的场地。本文重点关注重金属镉污染场地现状, 对镉污染土壤的物理、化学、生物修复技术进行了综述, 分析了每一种修复技术的优点与缺点, 指出未来仍需开发科学、高效及综合的修复治理技术。

关键词

镉污染, 修复技术, 场地

Copyright © 2019 by author 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

镉是一种银白色有光泽的重金属, 具有毒性大、持续时间长、可迁移性及生物富集性的特点。自上世纪 20 年代, 镉的环境污染问题开始出现[1]。铅锌矿山的开采、冶炼、重金属尾矿、冶炼废渣及矿渣堆等, 存在着大量的酸性废水, 这些酸性废水溶出的多种重金属离子包括金属镉, 废水通过矿山排水和降雨进入土壤, 间接或直接地造成工业场地土壤中镉的含量远远超出环境标准(表 1)。镉污染不仅对大气、水与农业生产造成影响, 而且可以通过食物链迁移和富集, 从而进入人体引起慢性中毒, 同时会诱发基因突变和癌症[2] [3] [4] [5] [6]。因此, 对镉污染场地土壤进行科学治理修复非常必要。本文通过系统梳理适合镉污染场地修复技术, 以为治理修复镉污染场地的后期工作提供科学依据。

Table 1. Soil environmental standards for cadmium

表 1. 镉的土壤环境标准(GB15618-1995) ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

元素	一级		二级		三级
	自然背景	Ph < 6.5	Ph 6.5~7.5	Ph > 7.5	Ph > 6.5
Cd	0.20	0.30	0.30	0.60	1.0

2. 镉在土壤中的存在形式

地壳中镉的含量较少, 镉在土壤中的赋存状况、形态不仅与元素本身性质和含量有关[7], 还决定于其存在的自然地理条件, 土壤类型及其性质、土壤组成成分(如有机质、黏土矿物、锰铁铝氧化物、碳酸盐和微生物等)、土壤环境条件(如 pH、Eh、CEC)等。镉在进入土壤之后发生吸附解吸、溶解沉淀、凝聚、络合吸附等反应, 同样也会造成其在土壤中往往以多种形态存在, 根据化学形态可以分为可交换态(Exc)、碳酸盐结合态(Carb)、铁锰氧化物结合态(OxFe-Mn)以及有机结合态(BO)。

3. 镉污染场地修复技术

目前, 镉土壤污染修复依据技术原理不同可以分为物理修复技术、化学修复技术及生物修复技术[8]。

3.1. 物理修复

物理修复是通过对污染土壤进行稀释、加热、固化稳定等物理方法将污染物从污染介质中去除或降低环境风险的方法, 常见的物理修复方法包括客土法、热解析修复技术、玻璃化修复技术及电动修复技术, 此过程并未改变污染物的化学性质。

3.1.1. 客土法

客土法主要是通过引入质地肥力较好的新鲜土壤, 全部或部分替换原有的镉污染土壤从而稀释镉的

浓度，并将已污染土壤转运处理，来降低镉污染土壤对周围环境的风险。该方法原理简单、操作性强且在短时间内可以将污染物浓度降低至控制水平以下，但此方法并未改变污染物在土壤中的迁移性和生物可利用性，因此工程施工中往往需要联合其他修复技术、防控阻隔措施加以治理，此外，涉及转移外运的污染土壤也需要制定合理的处置方案，防止对环境造成二次污染。

3.1.2. 热解析修复

热解析修复是通过将污染土壤进行加热处理，将污染土壤中易挥发的镉从土壤中解析出来，或者对其进行热固定的修复方法。

3.1.3. 玻璃化修复

镉污染土壤玻璃化修复技术是将被镉污染的土壤置于高温高压的环境中处理一段时间，后将其冷却处理形成玻璃体物质，这种物质一般比较稳定，土壤中镉污染物被固定以达到阻抗镉污染土壤的迁移的修复方法。

3.1.4. 电动修复

电动修复技术是指在镉污染土壤两端插入电极，在土壤中形成一定的电场梯度[9]，通过电场的电渗和电迁移作用将污染土壤镉转移富集至阴极或阳极，后经过电沉降作用在电极棒上沉淀，以实现镉污染土壤的减毒或去除，这种技术是一种新型的物理修复技术，具有周期短、效率高的特点，近几年被广泛关注和研究。但是，土壤的 pH 值、渗透性以及所用电解质材料都会影响其去除效率。费用大，耗能高也是这种方法的制约因素。

3.2. 化学修复

镉污染土壤化学修复是指通过向镉污染土壤添加化学试剂、改良剂等，改变镉在土壤中的存在形态和土壤氧化还原点位、PH 等，通过分离、吸附、转化、降解等作用降低镉的生物有效性，减少镉的危害。目前，化学修复技术主要包括化学淋洗技术、其固化/稳定修复技术等。化学修复镉污染土壤中的常用物质有磷酸盐、石灰、硅酸盐等。化学修复具有原位修复，简单易操作等优点，但由于其仅改变土壤中镉的存在形态，在特定情况下镉可能会被再次活化，难以达到永久性修复的目的。因此，化学修复措施仅适用于镉污染程度较低的地区。

3.2.1. 淋洗修复

镉污染土壤淋洗修复技术是利用注射井等将淋洗液或化学助剂(例如酸、碱、盐、人工螯合剂及表面活性剂等)施加到污染土壤中(表 2)，淋洗液在重力或外力作用下向下渗透，使污染土壤中的镉充分与其结合，通过淋洗液的解吸、螯合、溶解或固定等化学作用[10] [11] [12]，达到对污染土壤的修复。这种方法的核心在于找到一种经济实惠、容易生产的淋洗剂。

Table 2. Types of soil cadmium leaching agent [According to Document [13]]

表 2. 土壤镉淋洗剂种类[据文献[13]]

无机溶剂	螯合剂		表面活性剂
	氨基多羧酸类人工螯合剂天然	小分子有机酸螯合剂	
H ₂ O, HCl, HNO ₃ , H ₂ SO ₄ , H ₃ PO ₄ , NaOH, CaCl ₂ , NaNO ₃ , NH ₄ NO ₃ , FeCl ₃	乙二胺四乙酸、氨基三乙酸、二乙基三胺五乙酸、乙二胺二琥珀酸等	柠檬酸、草酸、富里酸、水杨酸等	十二烷基苯磺酸钠、鼠里糖脂、皂角等

3.2.2. 固化/稳定修复

固化/稳定修复就是通过向污染土壤中添加固定剂(如有机质、水泥基、沸石、海泡石、磷酸盐石灰、

羟磷灰石、矾土、有机堆肥、活性污泥、腐殖酸等) (表 3), 使土壤中的镉污染物与其充分混合发生一系列沉淀吸附、离子交换、腐殖化等的氧化-还原反应, 改变镉在土壤中的存在形态, 降低其在土壤中的可迁移性与生物有效性, 达到降低镉对动植物的生物毒性。目前, 固定修复技术具有周期短、见效快、修复效果稳定的优势, 但是, 这种方法并没有将镉从污染土壤中完全去除, 仅改变了它的赋存状态, 随着土壤环境的变化, 极易造成二次污染。

Table 3. Common fixatives/healing agents for cadmium-contaminated soil [According to Document [13]]

表 3. 镉污染土壤常用固定剂/修复剂[据文献[13]]

固化剂	稳定剂
无机粘合剂: 水泥、石灰、粉煤灰等 有机粘合剂: 沥青、聚乙烯等热塑性硬化有机聚合物如尿素 玻璃质物质	矿石材料: 沸石、石灰石 碱性材料: 氧化钙、磷酸钙等 沉淀剂: 碳酸盐、磷酸盐、螯合剂等 有机吸附剂: 活性炭、黏土等

3.3. 生物修复

镉污染土壤生物修复技术是指通过利用生物的某些特征(如酶、胞外多聚物及有机酸)来吸收、抑制、转化和改善污染土壤。镉污染土壤的生物修复一般分为植物修复、微生物修复和动物修复 3 种。

3.3.1. 植物修复技术

植物不仅可以利用根系的分泌或吸附活动, 降低土壤镉的移动性和生物有效性, 还可以通过植物根系吸收土壤中的镉并在枝、茎和叶进行富集, 然后连续收割植物枝茎叶从而降低土壤镉含量。植物提取修复是目前对于镉污染土壤研究最多, 也是应用前景最广的一种修复方式[14] [15] [16] [17]。目前, 国际公认的对土壤中镉修复效果较好的超积累植物有十字花科、菊科、商陆科、茄科等 10 余种植物(表 4)。植物修复是一种绿色环保的修复技术, 可有效降低或避免二次污染。另外, 植物修复可以对污染环境有一定的美化作用, 还可以在植物的后期处理中重新提炼金属镉, 实现对镉的二次利用。但是这种修复方法由于植物本身生长周期的原因造成修复周期长, 植物生长地域也受到制约, 对自然条件和人为条件比较苛刻。

Table 4. Typical cadmium accumulation plants

表 4. 典型的镉累积植物

植物种类	种属	最高累积量(mg·kg ⁻¹)
天蓝遏蓝菜	十字花科	3200
商陆	商陆科	≥100
三叶鬼针草	菊科	≥100
早开堇菜	堇菜科	113.083
细叶美女樱	马鞭草科	778.31
向日葵	菊科	≥100
香根草	禾本科	421.96
羽衣甘蓝	十字花科	102.16
田旋花	旋花科	3750
二月蓝	十字花科	595.86

3.3.2. 微生物修复

某些土壤中的微生物通过胞外吸附作用、胞外沉淀作用以及胞内累积作用对镉进行吸收、沉淀、累积,有效改变了镉在土壤中的存在形态,通过利用微生物这种特性能有效降低污染镉的移动性与毒性[18]。目前,对镉污染土壤修复效果较好的微生物有:细菌(如芽孢杆菌、柠檬酸杆菌、假单胞菌等)、真菌(如青霉菌、根霉菌、木霉菌等)和某些小型藻类(小球藻、马尾藻等)。

3.3.3. 动物修复

动物修复技术是利用土壤中某些可吸收重金属特性的低等动物(如蚯蚓、鼠类等),在一定程度上降低污染土壤中重金属含量,达到修复重金属污染土壤的目的。目前,镉污染土壤的修复中主要是利用蚯蚓来进行[19]。蚯蚓作为土壤动物中的主要类群,一方面蚯蚓可以疏松土壤,促进土壤中有机质,废渣的降解,进而改善土壤的化学成分和物理结构,实现污染土壤的改善;另一方面蚯蚓通过体表或消化在体内富集镉,从而在一定程度上改善土壤环境。这种方法中所用的能够耐受和富集镉的动物非常少,所以很少被利用。

4. 结语

目前,镉污染土壤的修复治理仍然是环境领域研究的热点和难点,国内外研发多种针对镉污染修复的方法,取得了一些进展。然而,修复技术仍然存在局限性,单一的修复技术并不能完全达到预期修复效果,今后应重点开发科学、高效、综合的镉污染修复技术,并进一步推广应用到其他重金属土壤污染修复治理工作中。

参考文献

- [1] 环境保护部,国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报[J]. 中国环保产业, 2014(5): 10-11.
- [2] 周建军,周桔,冯仁国. 我国土壤重金属污染现状及治理战略[J]. 中国科学院院刊, 2014(3): 315-320.
- [3] 马彩云,蔡定建,严宏. 土壤镉污染及其治理技术研究进展[J]. 河南化工, 2013, 30(16): 17-22.
- [4] 李婧,周艳文,陈森,等. 我国土壤镉污染现状、危害及其治理方法综述[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(24): 104-107.
- [5] Zhang, T., Zou, H., Wang, Y., *et al.* (2013) Experimental Study on Enhancement Technology for Electrokinetic Remediation of Lead Contaminated Soil. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 7, 3619-3623.
- [6] Rascio, N. (1977) Metal Accumulation by Some Plants Growing on Zinc-Mine Deposits. *Oikos*, 29, 250. <https://doi.org/10.2307/3543610>
- [7] 韩京秀,李秋娟,姚丹成,等. 我国两个农村土壤镉高背景地区非镉职业暴露人群尿镉背景值调查[J]. 卫生研究, 2014, 43(5): 738-742.
- [8] 莫小荣,王芸,胡晓熙,等. 土壤重金属污染修复技术的研究进展[J]. 广东化工, 2016, 43(4): 58-60.
- [9] 胡艳平,徐政,王巍,等. 电动修复治理环境中的铬污染研究进展[J]. 稀有金属, 2015, 39(10): 941-947.
- [10] 刘霞. 螯合剂与表面活性剂对污染壤土中 Cu、Pb 的淋洗修复研究[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [11] 陈楠,谢焱,周歆,等. 原位化学淋洗技术对湖南省重金属复合污染农田土壤处理效果研究[J]. 安徽农业科学, 2015(28): 247-249.
- [12] 郭晓方. 化学淋洗剂在重金属污染土壤修复中的作用及环境风险[J]. 广州: 华南农业大学, 2012.
- [13] 柯国州,彭书平,徐涛,等. 土壤重金属镉修复技术研究进展[J]. 广州化工, 2017, 45(14): 28-31.
- [14] 茹淑华,苏德纯,王激清. 土壤镉污染特征及污染土壤的植物修复技术机理[J]. 中国生态农业学报, 2006(4): 29-33.
- [15] 贾永霞,李弦,张长峰,等. 羽衣甘蓝对镉的耐性和富集特征研究[J]. 西北植物学报, 2015, 35(5): 971-977.

-
- [16] 孙涛, 张玉秀, 柴团耀. 印度芥菜(*Brassica juncea* L.)重金属耐性机理研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(1): 226-234.
- [17] 严明理, 刘丽莉, 王海华, 等. 3种植物对红壤中镉的富集特性研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1): 72-77.
- [18] 徐慧, 陈明. 土壤铅、镉污染及其微生物修复研究进展[J]. 安徽农业科学, 2015(1): 65-67.
- [19] 敬佩, 李光德, 刘坤, 等. 蚯蚓诱导对土壤中铅镉形态的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(3): 65-68.

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