

# Research on the Comprehensive Remediation Model for Heavy Metal Contaminated Soils in Tongguan Gold Mining Area

Fuling Deng, Wei Liu\*

Shaanxi Province Land Engineering Construction Group Co., LTD., Xi'an Shaanxi  
Email: 2639035554@qq.com

Received: Mar. 20<sup>th</sup>, 2019; accepted: Apr. 4<sup>th</sup>, 2019; published: Apr. 11<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Heavy metal pollution in soil has become a worldwide problem. How to economically and efficiently remediate heavy metal pollution is a key issue facing the healthy development of soil ecology. In this paper, the commonly used remediation technologies for heavy metal contaminated soils are classified and summarized. Based on regional pollution zoning, ecological function positioning and economic development planning, a comprehensive remediation model for heavy metal contaminated areas is proposed, which applies multiple remediation technologies to achieve the goal of two-way development of soil remediation and regional economy.

## Keywords

Heavy Metal Pollution Division, Comprehensive Remediation Model, Ecological Landscape Function

---

# 潼关金矿区土壤重金属污染综合修复模式研究

邓富玲, 刘 伟\*

陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安  
Email: 2639035554@qq.com

收稿日期: 2019年3月20日; 录用日期: 2019年4月4日; 发布日期: 2019年4月11日

---

## 摘 要

土壤重金属污染俨然已成为世界性的难题, 如何经济、高效地实现重金属污染修复是当今土壤生态健康

---

\*通讯作者。

发展面临的关键问题。本文对目前比较常用的土壤重金属污染修复技术进行分类总结。基于区域污染区划、生态功能定位和经济发展规划,提出了一种对重金属污染区域采取多种修复技术并举的综合修复模式,以实现土壤修复治理与区域经济双向发展的目标。

## 关键词

重金属污染区划, 综合修复模式, 生态景观功能

Copyright © 2019 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

潼关县位于陕西东大门,素有“华夏金城”之称,位列全国第三产金大县。县境内地形南高北低,南部秦岭山地面积 223 平方公里, 占全县总面积的 42%, 金矿区位于该县南部的小秦岭北坡中低山地区, 矿区海拔 700~2100 m 之间, 相对高差达 900 m, 南北向沟谷发育, 峪道两侧谷坡 30°~60°。金矿资源的开发为地区乃至全国经济发展做出了重大贡献, 同时也给矿区环境带来了严重危害, 为矿区生态环境埋下了巨大隐患。早年间“马蜂窝”式的无序开采、“三小”提金、混汞法提金、废水偷排等情况导致矿区周边的水系、农田土壤中 Hg、Cd、Pb 等重金属超标严重[1]。矿渣矿石的随意堆放已引发了两次特大泥石流, 造成失踪死亡人数越百, 经济损失上亿[2]。近年来, 黄金资源枯竭, 黄金工业急剧萎缩, 资源、环境、社会等多方面问题和矛盾愈发突出, 潼关县转型发展迫在眉睫。潼关县“十三五”规划指出要坚定“经济转型、产业融合, 城乡一体、统筹推进”发展思路, 大力实施“生态立县、旅游兴县、黄金强县”发展战略, 全力争创“全国文化旅游名县、全国黄金经济强县和国家文明城市”。开展矿区土壤重金属污染综合修复, 重建矿区生态景观助推潼关县转型发展, 恢复“山水潼关”。

本研究立足于恢复区域土壤健康、重建生态景观和经济协调发展, 对潼关金矿区及影响区土壤重金属污染综合修复进行阐述, 旨在为潼关“生态立县、旅游兴县、黄金强县”提供一个参考。

## 2. 土壤重金属污染区划

区划是为了科学认识区划对象, 土壤重金属污染区划是污染修复的基础。对区域内土壤重金属污染类别、污染程度、污染范围等进行调研统计和归类, 遵循一定的区划原则, 运用区划方法, 建立区划指标体系, 在土壤环境质量区划[3]基础上对区域污染情况进行分区有利于宏观把控区域污染物种类、特征、程度、空间分布情况等要素, 因地制宜地开展污染修复。本文在柯海玲[4]对潼关金矿区及其影响区土壤样品综合污染状况排序的基础上, 将研究区土壤重金属污染区划为双桥河冲洪积阶地重污染区[5]、山前冲洪积斜塬中污染区、黄土沟壑残塬轻污染区和黄渭河冲积平原安全区四个分区。

## 3. 土壤重金属污染修复主要技术

土壤重金属污染修复是指利用物理方法、化学方法、生物方法和工程技术措施等将土壤中的重金属总量或有效态消减, 降低其在土壤中的迁移和生物可利用性。目前, 常用的重金属污染修复技术有: 物理客土法、深耕翻土法、热力恢复法和化学改良、化学淋洗法以及植物修复等。对主要修复技术特点进行归纳总结见表 1。

**Table 1.** The major remediation technologies for heavy metal contaminated soils**表 1.** 主要重金属污染土壤修复技术

技术分类	主要方式	主要材料/方法	优点	缺点	适用范围	参考文献
物理修复	客土、覆土隔离	清洁土壤	高效	土方量大	污染较轻、取土方便	[6] [7]
	深耕翻土	——	成本低	下层土壤肥力差	污染轻、土层深	
	热力恢复	电热	对特定污染效率高	成本高、工程量大、易污染空气	熔点低或挥发性强的小面积重污染	[8] [9]
化学修复	化学改良(固化/稳定化)	改良剂	快速、高效	长期稳定性不确定	处理多种无机物、部分有机物和难处理的混合污染物	[10]
	化学淋洗	淋洗液	快速、高效	二次污染、费用高	小面积、重污染	[11]
生物修复	植物修复	重金属富集植物	成本低、环境友好	耗时长、见效甚微	轻污染	

#### 4. 土壤重金属污染综合修复模式应用

目前, 重金属污染修复技术已由单一修复向多技术联合修复转变, 内蒙古盐碱地改良项目将客土法、化学修复测土配方和植物修复相结合, 很好的现实了土壤修改修复[12]。田伟莉等[13]通过大田实验表明动植物联合修复效果优于单个动物修复和植物修复的简单叠加, 具有推广应用前景。田浩[14]在陕西潼关金矿区周边某农田进行试验发现 80 cm 上下深翻土壤+种植小麦处理效果最佳, 作物体内 Cd、Pb 含量已处于清洁水平。彭桂香等[15]试验不同改良剂配方促进东南景天修复锌镉污染土壤, 结果表明适合的改良剂可增加土壤微生物数量和东南景天植株的生长, 从而促进对 Zn、Cd 的去除率。赖发英等[16]利用乔、灌、草多层次植物组成立体模式修复重金属污染面较大的土壤, 具有效果明显、简便易行和经济效益大等优点。联合修复技术是多种技术的有机组合, 并非简单的叠加, 物理、化学和生物修复技术都有各自的优势、适用范围和使用顺序, 对不同类型的土壤重金属污染发挥着不同的作用。选择修复技术的联合可从社会、经济、环境三大方面考虑其可行性: 一是修复技术对该类重金属污染的修复效果如何, 修复技术间如何相互促进发挥作用; 二是修复成本是否在项目预算内; 三是修复技术方案是否与区域规划相切合。在工程实践中以土壤重金属污染区划为基础, 根据修复技术的优缺点、适用范围, 结合修复对象的特点联合多种修复技术, 扬长避短以实现土壤重金属污染综合修复。

##### 4.1. 物理 + 化学 + 生物联合修复模式应用

双桥河冲洪积阶地重污染区主要指双桥河、潼沟河中、下游河床两岸河漫滩以及一、二级阶地区域, 区域面积较小。该区域为径流汇集地, 秦岭峪道开阔平坦, 地势较缓, 径流携带的各类重金属污染物便在此处沉积下来, 为重金属污染的承受区, 成为二次或多次污染源。该区域径流最终汇入渭河或黄河, 对大河水系水质污染形成巨大威胁。周边农田主要依靠河系及浅层地下水进行灌溉, 致使农田重金属污染面扩大。河系作为生态系统的带状生态廊道, 具有保护生物多样性、过滤污染物、防止水土流失、调控洪水等多种生态功能, 在区域内发挥着重要的生态调节功能。河流底泥中重金属污染最为严重, 且为多种重金属混合物, 河漫滩及一、二级阶地是重金属随径流进入河道的必经之地, 表层土壤受污染也较为严重, 建议在枯水季疏浚河内底泥, 对底泥和区域内表层土壤进行集中固化/稳定化处理, 使其达到资源再利用标准[17]后用于河堤及护坡的修建, 并在护坡上播撒绿化草籽进行长期性的植物修复。对经过剥离和固化/稳定化后的双桥河冲洪积阶地重污染区进行乡村生态廊道景观规划, 种植对区域重金属污染具有富集作用的景观绿植[18] [19], 构成河系、河漫滩及一、二级阶地绿色保护屏障。

## 4.2. 物理 + 化学修复模式应用

山前冲洪积斜塬中污染区主要为峪道口以北的梯状后塬地区, 受山前冲洪积扇基底的影响, 塬面由南至北倾斜, 矿山企业选矿厂主要集中在该处, 低洼处则成为尾矿渣堆积场地, 选矿废水则流入河道, 带入的尾矿浆沉淀在河底及漫滩上, 成为二次或多次污染源。该区域土壤主要为山前冲洪积的砾石与黄土相掺和而淤积的冲洪淤土。该区域为重金属中度污染区, 污染源由低洼处的点状尾矿渣和线状或面状尾矿渣组成。选矿后废弃的尾矿渣随意堆放是重金属污染的二次污染源[20], 也是泥石流灾害发生的主要物源[21]。建议对成堆的尾矿渣进行热力恢复去除并收集主要的 Hg 污染, 对热力恢复后的尾矿渣进行资源化利用[22] [23]; 对线状和面状矿渣采取就地固化/稳定化处理, 并运用工程措施将矿渣就地固定在斜塬上, 防止矿渣内重金属流失和矿渣型泥石流的发生。

## 4.3. 物理 + 修复模式应用

黄土沟壑残塬轻污染区主要指洪积斜塬以北的县城、代字营以及港口一带, 受地表径流长期侵蚀形成残塬沟壑, 该区域土壤是在风积黄土熟化而形成的垆土, 该区域为潼关县粮食主产区, 常年种植玉米、小麦、油菜、蔬菜等主要农作物和花椒、石榴等经济树种。该区域土壤重金属污染等级为轻度污染, 不易采用易引起二次污染的修复方法。建议采用多种物理修复相组合的模式进行修复, 鼓励农民对农田进行深耕翻土[14], 指导农民合理改良土壤, 少种绿叶类、调味类作物, 有选择性的种植根茎类、果菜类及豆类等作物[20], 杜绝利用就近矿业污水灌溉造成二次污染。对农产品重金属含量进行动态监测, 对未达到食品安全国家标准地区的土壤进行一定厚度的隔离覆土[7]。

## 4.4. 生物 + 修复模式应用

黄渭河冲积平原安全区分布于黄河河谷和渭河河漫滩一带及河岸两侧的一、二、三级阶地。地势开阔平坦, 地下水位较高, 一、二阶地常被洪水淹没。阶地上部为灰黄色沙质黏土、次生黄土和淤泥, 下部为中细粒砂石层。该区域距离金矿区最远, 受重金属污染最轻, 处于安全级别, 但降雨径流仍会携少量重金属汇入该区域。因此, 宜采用生物+修复模式, 种植黑麦草[24]、芦苇和菖蒲[25] [26]等超富集草本或木本植物和土著园林景观花木构建湿地生态系统, 利用湿地内植物、生物的物理过滤、生物吸收和化学合成分解功能, 使该区域土壤、水体得以净化, 实现重金属污染修复与生态旅游业双向发展。

## 5. 结论与展望

### 5.1. 结论

土壤重金属污染修复技术的选择与应用是建立在对修复对象的了解掌握之上的, 对修复土壤进行深入调查取样分析是修复工作的基础, 因此, 重视前期土壤污染调查, 做好区域土壤重金属污染区划是设计修复方案、选择修复技术的第一步, 也是关键的一步。

土壤重金属修复治理是一个复杂的过程, 单一的修复技术适用范围有限。在实践中需根据重金属污染类型和区域实际发展情况采用物理、化学、生物及工程措施多种方法联合修复, 构建一个系统的修复体系, 优劣互补, 实现更加高效、经济、环保的修复。

土壤修复方法的选择和工程措施的应用应与区域经济发展规划和区域景观生态规划相切合, 实现土壤修复治理与区域经济双向发展。

### 5.2. 展望

每个区域都有本区域丰富的生物资源, 他们对修复本区域重金属污染具有不可替代的优势, 在区域

内发现、研究和培育对重金属具有超富集的本土植物、高耐受性的微生物和动物资源组成区域修复重金属污染的优势种群是生物 + 修复的一个方向。

修复技术的应用势必会对区域生态环境造成一定程度的扰动, 在修复技术的应用中, 如何将对生态环境的影响最大程度的降低是具体修复过程中需要注意的问题。

修复技术的联合是建立在对区域重金属污染情况以及社会、经济和环境多方面的认真研判下得出来的, 但在试验阶段我们可以大胆假设, 多方尝试, 试验求证更多高效、低成本的联合修复技术。

## 基金项目

陕西省土地工程建设集团内部科研项目(DJNY2019-10)。

## 参考文献

- [1] 陈社斌, 徐友宁, 何芳, 等. 潼关金矿区环境污染及危害性浅析[C]//国土资源部, 中国地质调查局. 2003 年全国矿山环境保护学术研讨会论文集: 2003 年卷. 2003: 172-175.
- [2] 徐友宁, 陈社斌, 何芳, 等. 潼关金矿区矿渣型泥石流灾害及防治对策[J]. 山地学报, 2006(6): 667-671.
- [3] 吴波, 郭书海, 李宝林, 等. 中国土壤环境功能区划方案[J]. 应用生态学报, 2018, 29(3): 961-968.
- [4] 柯海玲. 陕西潼关金矿区土壤重金属环境地球化学特征及污染评价[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2005.
- [5] 谢娟, 徐友宁, 钱会, 等. 双桥河流域农田土壤重金属分析与评价[J]. 黄金, 2008(3): 46-50.
- [6] 王兴利, 王晨野, 吴晓晨, 等. 重金属污染土壤修复技术研究进展[J]. 化学与生物工程, 2019, 36(2): 1-7.
- [7] 蔡苗, 韩霁昌, 魏祥, 李刚, 卢楠. 陕西潼关矿区土壤污染治理技术探讨[J]. 西部大开发(土地开发工程研究), 2016(3): 77-84.
- [8] 姚高扬, 冯钦忠, 陈扬, 等. 热解析技术处理汞污染土壤研究进展[J]. 环境工程, 2017, 35(10): 179-183.
- [9] 王立辉, 邹正禹, 张翔宇, 等. 土壤中汞的来源及土壤汞污染修复技术概述[J]. 现代化工, 2015, 35(5): 43-47.
- [10] 杜延军, 金飞, 刘松玉, 等. 重金属工业污染场地固化/稳定化处理研究进展[J]. 岩土力学, 2011, 32(1): 116-124.
- [11] 高国龙, 张望, 周连碧, 等. 重金属污染土壤化学淋洗技术进展[J]. 有色金属工程, 2013, 3(1): 49-52.
- [12] 姚喜军, 张衍毓, 王志勇, 等. 内蒙古污染土地修复模式与对策研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(31): 10951-10955.
- [13] 田伟莉, 柳丹, 吴家森, 等. 动植物联合修复技术在重金属复合污染土壤修复中的应用[J]. 水土保持学报, 2013, 27(5): 188-192.
- [14] 田浩. 某矿区农田重金属污染工程—植物联合修复技术研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2016.
- [15] 彭桂香, 蔡婧, 林初夏. 超积累植物和化学改良剂联合修复锌镉污染土壤后的微生物特征[J]. 生态环境, 2005(5): 654-657.
- [16] 赖发英, 赖明, 曾小钦, 等. 立体式植物修复受重金属污染农田土壤的探讨[J]. 环境污染与防治, 2005(5): 382-384.
- [17] 谷庆宝, 马福俊, 张倩, 等. 污染场地固化/稳定化修复的评价方法与标准[J]. 环境科学研究, 2017, 30(5): 755-764.
- [18] 赵新华, 马伟芳, 孙井梅, 等. 植物修复重金属-有机物复合污染河道疏浚底泥的研究[J]. 天津大学学报, 2005(11): 1011-1016.
- [19] 刘秀梅, 聂俊华, 王庆仁. 植物对污泥的响应及根系对重金属的活化作用[J]. 土壤与环境, 2002(2): 121-124.
- [20] 王爽. 陕西省潼关县农田土壤及农作物重金属污染现状研究[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [21] 徐友宁, 陈社斌, 李育敬, 等. 陕西潼关金矿区泥石流潜势度评价[J]. 水文地质工程地质, 2006(2): 89-92.
- [22] 李明东, 张志峰, 朱丽萍, 等. 我国资源化利用瘠性尾矿生产建筑材料的进展[J]. 金属矿山, 2014(12): 213-217.
- [23] 周玲君. 复合重金属污染废渣的资源化利用途径[J]. 工程建设, 2018, 50(3): 81-86.

- [24] 冯鹏, 孙力, 申晓慧, 等. 多年生黑麦草对 Pb、Cd 胁迫的响应及富集能力研究[J]. 草业学报, 2016, 25(1): 153-162.
- [25] 韩志萍, 王趁义. 不同生态型芦竹对 Cd、Hg、Pb、Cu 的富集与分布[J]. 生态环境, 2007(4): 1092-1097.
- [26] 林海, 刘俊飞, 刘璐璐, 等. 菖蒲和芦苇对复合重金属胁迫的生理反应及其富集能力[J]. 工程科学学报, 2017, 39(7): 1123-1128.

#### 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: 2329-7255, 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: [hjss@hanspub.org](mailto:hjss@hanspub.org)