

# 我国农田土壤重金属污染源解析与修复技术研究

朱泽亮

广东绿日低碳科技有限公司

**摘要：**受过去粗放型经济发展方式的影响，我国农田土壤重金属污染问题较为突出，给食品安全带来了严重的风险隐患，客观上制约了我国经济社会持续健康发展。为保障农田土壤场地再开发利用的环境安全，维护人民群众的切身利益，发展方式从粗放型向集约型转变，因此必须高度重视重金属污染农田土壤的治理工作。为提高治理效果，应对农田土壤的主要重金属污染源进行全面的解析，并积极探索相应的土壤修复技术。同时结合某重金属污染农田土壤治理项目实践，对相关修复技术在农田土壤治理工作中的施工技术要点进行分析，以针对性提高农田土壤修复效率和质量。

**关键词：**农田土壤；重金属污染；污染源解析；修复技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.23.114

在我国绿色环保发展战略的提出，农田土壤治理修复问题受到了越来越广泛的关注。过去很长一段时间，追求当下经济效益的同时忽视了环境效益和社会效益的实现，使得农田土壤备受重金属污染。缺乏农田土壤保护意识，导致我国部分农田土壤受到了严重的重金属污染这不仅制约了我国农业的可持续性发展，而且也对人民群众的身心健康造成了较大的伤害。因此国家从十三五规划开始就将重金属农田土壤治理作为新时期的重点工作内容之一，并加大了修复技术的研发力度。

本文将对我国农田土壤的主要重金属污染源进行分析研究，并探讨相关的农田土壤修复技术。同时，本文将某农田土壤治理项目为例，探讨重金属污染农田土壤的修复施工技术要点，以促进治理修复效果的提升，从而为我国农业的健康有序发展奠定良好的基础。

## 一、解析我国农田土壤主要重金属污染源

### （一）农田土壤重金属污染“农业源”解析

在农业生产的过程中，使用水质较差的灌溉水源或使用肥料、温室薄膜、农药中含有重金属成分，会导致农田土壤受到一定程度的重金属污染。

我国一些地区由于水资源匮乏，因此在农业灌溉过程中往往使用的是仅进行了简单净化处理、甚至是未经处理的废水，导致农田土壤在经过长期灌溉后累积了大量的重金属元素，严重影响了土壤环境，而且也对食品安全构成了严重的威胁。还有部分地区所使用的农药或者肥料中重金属含量超标。甚至有些地区的农民直接使用污染严重的塑料或其他废弃物作为肥料，对农田土壤环境造成了极大的破坏。近年来温室薄膜在农业生产中的使用日益广泛，但有些农民在使用完毕后未能及时将

废弃的薄膜正确清理干净，导致其残留在农田土壤中，导致土壤中的重金属元素逐渐蓄积，从而影响农作物的安全性。因此农业源是农田土壤重金属污染的一个重要污染源。

### （二）农田土壤重金属污染“工业源”解析

随着我国产业结构调整的深入推进，大量工业企业被关停并转、破产或搬迁，腾出的工业企业场地作为城市建设用地被再次开发利用，一些重污染企业遗留场地的土壤和地下水受到污染，导致了工业污染是造成农田土壤重金属污染的主要污染源之一。

通过分析发现，采矿工业、钢铁工业、煤炭工业、电镀工业以及焦化工业等在生产过程中会对其周边地区的农田土壤造成严重的重金属污染问题。例如在煤炭工业区内，农业土壤环境中的铅元素、汞元素、砷元素以及镉元素等重金属含量明显超标。同时，在铀矿工业区内由于运输过程中往往会掉落废渣等，也会对该区域内的农田土壤造成重金属污染，其农田土壤中的铀元素、砷元素以及铜元素等均处于严重污染水平。

### （三）农田土壤重金属污染“自然源”解析

在现代生活中会产生大量的垃圾，而在垃圾填埋处理时会往往会产生渗液、地表灰尘等，其通过迁移作用或者进入大气循环以及雨水沉降等，就会导致农田土壤受到重金属污染。特别是近年来随着人们生活水平的不断提高，为满足人们对便利性、舒适性的要求，所产生的汽车尾气排放、燃煤废气和颗粒物排放等不断增加，进一步加剧了对农田土壤的污染。

通过分析发现，在我国经济较为发达的江苏地区，其农田土壤中所含的镉元素、汞元素以及铅元素等重金属元素明显超标，这使得自然源也成了造成农田土壤重金属污染问题的重要因素。

## 二、修复重金属污染农田土壤技术研究分析

### （一）重金属污染农田土壤——化学修复技术分析

化学修复技术也是重金属污染农业土壤修复治理中的重要技术手段。例如可以应与复杂吸附技术、氧化还原技术或者沉淀聚合技术等到农田土壤中重金属元素的活性以及迁移状态发生改变，从而降低植物对重金属元素的吸收率。同时，也可以采用固化稳定技术来对重金属污染农业土壤进行化学修复。在农田土壤治理修复实践中可以采用水泥与钙基类药剂或者铁盐类药剂进行复配使用，并通过异位固化稳定等方式来促使农田土壤中的重金属稳定固化，从而达到修复目的。此外，也可以应用化学淋洗技术来分离农田土壤中所含的重金属成分，不过在应用该技术时必须注意二次污染问题。

## （二）重金属污染农田土壤——物理修复技术分析

在修复重金属污染农业土壤时，物理修复技术是较为常用的一类技术方法。现阶段已经研发出的深耕翻土修复技术、土壤混合修复技术、置换修复技术以及去除表土等多项物理修复技术。不同的物理修复技术在具体的技术特点和使用条件上存在一定的差异，因此在选择应与物理修复技术时应结合农田土壤的污染源特点以及实际土壤条件等选择相应的修复技术方法。例如在对铬矿周边区域的重金属污染农田土壤进行修复时，可以将山体表层黏土作为修复土使用，置换原农田土壤，从而达到治理修复的目的。

## （三）重金属污染农田土壤——生物修复技术分析

由于传统的物理修复技术以及化学修复技术等均存在一定的局限性，因此近年来生物工程技术在重金属污染农业土壤修复治理领域受到了越来越广泛的关注，相关的技术研发力度不断加大。

### 1、重金属污染农田土壤微生物修复技术分析

微生物修复技术也就是利用细菌或者真菌在金属耐受性等方面的特点来吸附农田土壤中的重金属，从而达到治理修复的目的。通过试验研究发现农田土壤中所含的铬元素能够被铜绿假单胞菌有效吸附，其还能够同时分析胞外聚合物以及谷胱甘肽等成分，以帮助植物抵抗重金属毒性。而短小芽孢杆菌以及苏云金芽孢杆菌等则能够对二价铅进行转化，使其成为不溶性的铅羟磷灰石等沉淀物，这可以使铅的生物可利用度降低，从而达到修复农田土壤的目的。此外，还有多种外生菌根真菌不仅能够作为评价农田土壤重金属污染程度的指示剂使用，而且能够使宿主植株具有更强的重金属耐受力。虽然微生物修复技术的应用会受到农田灌溉以及施肥等因素的影响，但其农田土壤治理修复中应受到了高度的关注，并成了修复技术研发的重要方向之一。

### 2、重金属污染农田土壤生物基因工程修复技术分析

随着生物基因工程技术的发展，其在农田土壤修复中也得到了越来越广泛地应用。该技术主要是通过基因编辑等方式来进行抗性植菌株以及生物传感器的构建，一般用于监测农田土壤环境中的重金属暴露情况以及农田土壤的修复治理。目前该技术路线仍处于研发阶段，但具有广阔的应用前景。

### 3、重金属污染农田土壤植物修复技术分析

所谓植物修复技术也就是基于植物自身的转化能力来实现光能与化学能之间的转化，从而达到隔离、排斥或者螯合农田土壤中重金属元素的目的。通过研究发现400余种植物均具有挥发、伏击以及固定金属元素的能力。例如蜈蚣草、香附子以及莲藕等植物在分离铅、铬、锌、锡等元素时有很高的提取率，特别是香附子的锡提取率能够达到86%左右。同时，拟南芥、云台藕以及景天属等植物在吸收铅元素以及铬元素时也有很强的

能力，可以用于农田土壤重金属污染的原位修复治理，能够使土壤中重金属的蓄积量明显降低。不过植物修复技术在实际应用中由于会受到植物生产以及其自身代谢分解能力等因素的影响，在修复效率等方面存在一定的局限性。

## 三、重金属污染农田土壤修复实践分析

### （一）某重金属污染农田土壤修复项目概况

结合本人的工作经历，某重金属污染农田土壤修复项目位于东莞市石碣镇，农田土壤为集中连片150亩菜地。该农田土壤因常年施肥以及将河道污水作为灌溉原灌溉，同时受周边区域工业生产活动等多种因素的影响，导致农田土壤的重金属污染问题较为突出，特别是存在严重的镉污染问题，因此需要对该农田土壤进行修复治理。

### （二）制定重金属污染农田土壤修复施工技术方案

项目部对该农田土壤环境进行了环境调查以及风险评估，准确掌握了待修复区域内的主要目标污染物类别、污染程度以及污染范围等各项参数，并结合招标文件要求确定了污染物修复目标，划定了具体的农田土壤修复范围。同时，施工单位结合项目的工期要求、成本控制要求等对不同农田土壤重金属污染修复技术进行了综合性的对比分析，并开展了相关的试验，决定采用土壤钝化技术来进行修复施工。在技术论证过程中验证了土壤钝化技术在该农田土壤重金属污染修复中的可行性，并确定了所使用钝化药剂种类以及投加比。同时还在小试试验的基础上进一步开展了中试田间试验，对土壤钝化技术的实际修复效果进行了验证，从而提高修复技术应用的合理性以及实际修复施工效果提供了重要的参考依据。

### （三）重金属污染农田土壤修复施工技术要点

#### 1、重金属污染农田土壤修复施工准备阶段技术要点

在实施重金属污染农田土壤修复施工前，施工单位应做好充分的准备工作，成立施工管理组织机构。施工单位应首先对施工场地进行平整，并要做好场地的清表工作。施工人员应将场地内所有石块、杂草杂物以及废弃农作物等清理干净。在平整场地时为提高施工效率，可主要采用机械作业方式，并辅之以人工方式。杂草以及废弃农作物在完成清理后应集中堆放在指定地点，以便在其自然干燥用于堆肥，以提高项目的环保性。施工单位还应科学规划施工现场，并指派专业技术人员严格按照施工图要求，准确进行放线测量。

同时，施工单位应根据施工方案配置修复施工中所需的各项施工机械设备、农田土壤修复材料和药剂以及工程防护用具、应急用具等。为避免在农田土壤修复施工中出现二次污染问题。施工单位还应设置好导排设施，并要对场地进行防渗处理。为保证修复施工的顺利进行，施工单位还应准备好临时施工水电设施，规范接

入施工用电用水,确保水管路、用电线路以及用水用电设施的安装符合国家相关规定要求。施工单位应对全体施工人员进行文明施工的教育培训,以减少施工污染问题对农田土壤环境的二次破坏。

此外,在该项目的农田土壤修复施工准备工作中,施工单位还需要修建主干灌溉水渠和主干道。施工单位可利用挖掘机进行开挖施工,并要中准确掌握摊平、初碾等各项施工技术要点,以确保道路基地碾压充分,其密实度能够达到施工要求。

### 2、重金属污染农田土壤现场修复阶段施工技术要点

在对重金属污染农田土壤进行现场修复施工时,应首先以浅层翻耕方式来处理场地。施工单位应通过大型农用拖拉机开展翻耕作业,且翻耕深度应控制在0.25m。在翻耕的同过程中,施工人员还应以人工作业方式将农田土壤中的石块以及残留的农作物等清理干净。在完成浅层翻耕作业后,施工人员应以人工作业方式将粒径在10mm及以下的大块土块打碎。当第一次人工碎土完成后,应通过晾晒土壤,将土壤含水率控制在35%以内。在晾干场地后,施工人员仍需以人工作业方式进行修复药剂的投放工作。在投放药剂时应确保全面、均匀,避免出现漏投或投放不均等情况。施工人员在完成药剂投放后即可使用农用拖拉机等大型机具设备开展药剂翻耕拌和施工,且应将翻耕深度控制在0.3m。之后还需进行二次人工碎土作业,并要重复晾晒、投放药剂、翻耕拌和这一过程三次,以确保农田土壤能够与修复药剂混合均匀、反应充分,从而使提高修复治理效果。

### 3、重金属污染农田土壤修复灌溉水处理阶段施工技术要点

在该重金属污染农田土壤修复项目的灌溉水处理阶段,施工单位需开挖储水塘,以利用储水塘存储净化处理后的河涌水,使其兼具灌溉以及防洪排涝等多项功能。根据该农田修复面积特点,应在区域一内设置4片储水塘,在区域二则应设置2片储水塘,且储水水位均应控制在1.2m左右。施工人员应将400g/m<sup>2</sup>规格的无纺土工布和厚度为1mm的HDPE双光面膜铺设在储水塘底,并要覆盖一层鹅卵石,其厚度应控制在0.1m。为避免河涌水灌溉造成的二次重金属污染问题,在修复农田土壤施工中必须高度重视河涌表层水的净化处理问题。该项目施工中采用的是一体化高效自动净水设备进行处理,同时综合应用混凝沉淀与砂滤罐过滤技术。这样抽水泵将河涌水提升至自动净水设备内后,就能够过自动完成PAC以及PAM等药剂的投加,并可以通过混凝沉淀去除河涌水中所含的可沉降物质以及悬浮物质,其上清液则可由砂滤罐再次过滤,以确保出水水质能够达到农田灌溉标准。

### 4、重金属污染农田土壤修复场地恢复种植阶段施工技术要点

当重金属污染农田土壤的修复施工基本完成后,还需要人工种植农作物,以进一步改善土壤环境。施工单位应科学划分场地划分,合理选择农作物种类,并以人工方式进行后开始进行农作物种植作业。该修复项目所采用的叶菜类作物主要为空心菜,并与其他常种蔬菜间种;而根菜类作物则选择了萝卜,另外选择豌豆作为主要的荚果类作物种植。从作物种植到其成熟的过程中应做好种植场地管理工作。施工人员在这期间需要定期进行5道浇水作业、3次人工除草以及人工施肥、除虫等施工。当农作物完全成熟后,应采用人工收割方式。修复期收获的作物应随机选择送检样品,并要将其他收割作物集中堆放、晾干、堆肥,以便将其用作绿化用肥等。

### 5、重金属污染农田土壤修复工程验收阶段技术要点

为检验重金属污染农田土壤修复效果,施工单位应在农作物成熟后行自检。自检时应每1600m<sup>2</sup>分别采集土壤样品和农作物样品各1个。采集的样品应严格按照实验要求做好预处理,以保证检验结果的准确性。当自检合格后,施工单位可拆除修复施工中所搭建的各种临时建筑设施。此外,施工单位应积极配合第三方专业检测机构对修复场地内的土壤以及农作物进行检测分析,且在检测合格方可申请验收。

## 四、总结

通过分析研究发现,工农业生产以及生活污染物排放均是导致农田土壤发生重金属污染问题的主要污染源,因此必须积极采用科学的修复技术开展农田土壤治理工作。现阶段已经研发出了物理修复技术、化学修复技术、植物修复技术、以及生物修复技术等多种重金属农田土壤修复方法。在农田土壤修复治理实践中应结合目标区域农田土壤的主要重金属污染源、污染成分以及土壤条件等因素,科学选择应用相应的修复技术,并要准确把握修复施工的各项技术要点,提高修复施工的规范性和标准化程度,以提高修复治理效果,为保证我国的食品粮食安全奠定坚实的基础。

## 参考文献

- [1] 邵萌萌, 鄂超. 我国农田土壤重金属污染源解析与修复技术研究进展[J]. 农业技术与装备, 2023(10): 78-81.
- [2] 邓美华, 朱有为, 段丽丽, 等. 农田土壤重金属污染“边生产边修复”综合防治技术模式解析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2020, 46(2): 135-150.
- [3] 汪洁, 朱有为, 杨肖娥, 等. 农用地土壤可持续安全利用的研究与实践——以浙江省镉污染农田为例[J]. 土壤学报, 2023, 60(6): 1662-1674.