

水文地质条件下的土壤污染防治与生态环境保护措施研究

张奇林

云南地质工程勘察设计院有限公司，云南 昆明 650041

摘 要： 土壤作为人类赖以生存的重要自然资源，在生态系统中占据着不可替代的地位。随着工业化进程的加速和城市化进程的不断扩展，土壤污染问题逐渐凸显，对人类健康和生态安全构成了严重威胁。在众多影响因素中，水文地质条件扮演着关键角色，它不仅决定了污染物在土壤中的分布模式，还影响着污染物质的迁移路径和转化过程。因此，研究水文地质条件下的土壤污染防治与生态环境保护措施，既有助于改善局部区域内的环境质量，又能为国家层面制定相关政策法规提供参考借鉴，推动整个社会向着可持续发展方向迈进。

关 键 词： 水文地质；土壤污染防治；生态环境保护

Study on Soil Pollution Prevention and Ecological Environment Protection Measures under Hydrogeological Conditions

Zhang Qilin

Yunnan Geological Engineering Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Kunming, Yunnan 650041

Abstract： As an important natural resource for survival, soil occupies an irreplaceable position in the ecosystem. With the acceleration of industrialization and the continuous expansion of urbanization, the problem of soil pollution has gradually become, posing a serious threat to human health and ecological security. Among many influencing factors, hydrogeological conditions play a key role, not only determining the distribution pattern of pollutants in soil, but also affecting the migration path and transformation process of pollutants. Therefore, the study on soil pollution prevention and ecological environment protection measures under hydrogeological conditions not only helps improve the environmental quality of local areas, but also provides a reference for the formulation of relevant policies and regulations at the national level, promoting the whole society to move towards the direction sustainable development.

Keywords： hydrogeology; soil pollution prevention; ecological environment protection

一、水文地质条件下土壤污染的相关概述

（一）水文地质环境概述

水文地质环境作为地球表层系统的重要组成部分，对于土壤污染防治和生态环境保护有着不可忽视的作用^[1]。水文地质环境中，地下水是关键要素之一，它广泛存在于地壳岩石孔隙、裂隙或土壤空隙中，构成庞大而复杂的地下水资源系统。地下水不仅是重要的淡水资源，还在物质循环、能量传递等方面扮演着重要角色。在自然状态下，地下水通过补给、径流、排泄三种方式实现动态平衡。降水、地表水、凝结水等可为地下水提供补给来源；而地下水流经岩层时，会在水力梯度作用下产生径流运动；最终，部分地下水又以泉的形式排出地表或者直接流入地表水体^[2]。

（二）土壤污染物种类及其理化特性

土壤污染物主要包括重金属、持久性有机污染物及农药等，这些物质具有独特的理化特性，在土壤环境中表现出复杂的迁移转化行为，深入理解这些特性有助于制定有效的污染防控策略。

重金属是一类典型的无机污染物，包括铅、镉、汞、铬、砷

等元素。这类物质在自然界的丰度相对较低，但在人类活动影响下，如矿产开采、工业排放以及农业灌溉用水被污染后，容易进入土壤环境。重金属在土壤中主要以离子形态存在，也可能与其他物质形成络合物或沉淀物。其化学性质较为稳定，不易被生物降解，因此一旦进入土壤，会在环境中长期累积^[3]。

持久性有机污染物（POPs）是另一类重要的有机污染物，如多氯联苯（PCBs）、二噁英、滴滴涕（DDT）等。POPs在土壤中的存在形式多样，既可能以气态挥发进入大气，也可能吸附在土壤颗粒表面，或者溶解于土壤溶液中。其迁移行为受温度、湿度、土壤质地等因素的影响较大^[4]。在干旱条件下，POPs更容易挥发到空气中；而在湿润环境下，则会更多地吸附在土壤颗粒上，减少迁移风险。同时，POPs还具有生物富集性，可通过食物链逐级放大，最终对人体健康造成严重威胁。

农药作为农业生产中不可或缺的化学品，广泛应用于农作物病虫害防治。然而，过量使用或不当施用可能导致农药残留于土壤中^[5]。根据化学结构不同，农药可分为有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类等多种类型。其中，有机磷农药毒性较强但降解较快，而拟除虫菊酯类农药则相对稳定且持久。农药在土壤中

的迁移转化过程涉及多种机制,包括吸附、解吸、水解、光解、微生物降解等。土壤有机质含量越高,农药越容易被吸附固定,从而降低其在土壤中的移动性。

(三) 污染物在土壤中的迁移传输机理

在水文地质环境中,污染物一旦进入土壤,会经历一系列复杂的物理和化学过程。从物理角度来看,污染物能够通过溶解作用融入土壤溶液中,之后借助扩散的力量向周围区域扩散^[6]。当土壤孔隙中存在的水分流动时,污染物就会随着水流发生渗滤现象,在土壤剖面内部进行垂直方向上的迁移。这种迁移活动并非一帆风顺,它受到土壤质地、孔隙度以及土壤含水量等因素的影响。例如,在质地较为细腻、孔隙度较小且含水量充足的土壤里,污染物更易于溶解并被携带移动;相反,在干燥或者质地粗犷的土壤中,污染物的迁移速度则相对较慢。并且,若污染物持续向下迁移,则有极大可能性最终进入地下水系统,进而对地下水水质造成威胁,甚至可能进一步影响到更大范围内的水资源安全^[7]。

从化学层面来说,污染物进入土壤后,会与土壤颗粒表面发生吸附作用。土壤中的黏土矿物、有机质等成分拥有较大的比表面积和丰富的活性位点,这些特性使得它们可以有效地吸附污染物分子。对于一些重金属离子而言,它们可以通过离子交换机制被吸附固定在土壤胶体上,从而降低其在土壤溶液中的浓度^[8]。同时,污染物还可能发生离解反应,这一过程中,原本以大分子形式存在的化合物可能会分解成更小的分子或离子,改变了自身的存在形态。某些离解产物可能具有更高的溶解性或者更低的溶解性,这直接影响着污染物后续的迁移行为。另外,沉淀反应也在其中发挥着重要作用。当土壤溶液中特定离子的浓度达到一定水平时,就有可能形成难溶性的盐类或者其他化合物而沉淀下来。例如,磷酸盐与钙离子结合可生成羟基磷灰石沉淀,而重金属离子如铅离子则可能与硫离子形成硫化铅沉淀。这些沉淀反应有助于将污染物固定在土壤中某个位置,阻止其进一步迁移,但值得注意的是,土壤的酸碱度、氧化还原电位等条件会影响上述化学反应的发生与否及程度深浅,进而间接调控着污染物在土壤中的迁移传输状态。

二、水文地质条件下土壤污染防治与生态保护措施

(一) 源头控制措施

推进产业结构调整优化过程中,对于那些高污染、高排放的行业进行淘汰,是防治水文地质条件下土壤污染的关键举措之一^[9]。例如,传统冶金行业产生的重金属废渣,一旦进入土壤,在降水等因素作用下,重金属离子会在土壤孔隙中迁移扩散,逐渐累积并沿着食物链传递,威胁到生物多样性。而当产业向清洁生产 and 资源循环利用方向转型升级时,不仅减少了污染源,还促进了经济发展模式的绿色转变。

在新建项目的各个阶段,环境影响评估成为了不可或缺的一环。从选址开始,项目团队就须充分考虑项目周边的水文地质特征,确保项目不会对当地土壤环境造成不可逆破坏。建设期间,

严格执行环保标准,施工过程中的废弃物能够得到妥善处理,避免其直接接触土壤。运营之后,持续监测污染物排放情况,对于排放超标或者污染物处理设施不达标的状况,采取限制或禁止准入措施。这一系列措施能够有效预防新的污染源产生,为土壤环境保护奠定坚实基础。同时,相关部门加大对违规排放企业的惩处力度也是必不可少的。一旦发现有企业违反规定排放污染物,相关部门应迅速介入调查,依法予以严惩,以此形成强有力的震慑,促使企业自觉遵守法律法规,积极履行社会责任^[10]。

清洁生产技术的广泛应用,从根本上减少了污染物的生成量。例如,化工行业中采用新型催化剂可以提高反应效率,降低副产物生成率,从而减少废弃物排放;造纸行业应用先进的制浆工艺,可使生产过程中的化学需氧量大幅下降。建立完善的资源循环利用体系同样重要。通过对废弃物的有效回收再利用,既节约了自然资源,又减轻了土壤负担。例如,废旧金属、塑料等材料经过分类回收后,可以重新加工成新产品,减少了对原生矿产资源的需求。通过上述措施,能够在源头上有效控制土壤污染风险,实现水文地质条件下的土壤污染防治与生态环境保护目标。

(二) 过程治理技术

1. 物理化学修复技术

第一,吸附法利用了活性炭、粘土矿物等高效吸附剂,能够选择性地吸附土壤中的重金属离子和有机污染物分子,从而降低其浓度。第二,化学氧化还原法通过引入臭氧、过氧化氢等强氧化剂,促使污染物发生化学反应,使其转化为低毒或无害物质^[11]。例如,臭氧具有极强的氧化能力,可以在短时间内将难降解的有机污染物分解成简单的二氧化碳和水。第三,电动修复技术依靠电场作用,使带电污染物向电极迁移并集中处理,而热脱附技术则通过加热方式使污染物挥发,随后收集处理,特别适用于处理挥发性有机化合物污染的土壤。

2. 生物修复技术

微生物修复利用自然界中广泛存在的微生物群落,这些微生物可以通过新陈代谢作用,将污染物降解为无害物质。例如,某些细菌能分泌特定酶类,将石油类污染物逐步分解为简单有机物,最终被矿化为二氧化碳和水^[12]。植物修复则借助植物的根系吸收、富集和转化污染物的能力,不仅净化了土壤,还改善了土壤结构。超积累植物能够在体内积累高浓度的重金属而不表现出毒性症状,为重金属污染土壤的治理提供了新思路。同时,植物的存在还可以防止土壤侵蚀,提高土壤肥力。

3. 工程-生态修复技术

工程措施如挖掘、填埋和隔离墙建设,可以在短期内迅速阻止污染物扩散,确保污染源得到有效控制。挖掘作业可以直接移除污染严重的土壤层,减少污染物总量;填埋则用于处置无法现场修复的污染土壤;隔离墙则防止污染物随地下水迁移。在此基础上,生态修复措施如植被恢复和生态景观建设,植被的种植可固定土壤,防止水土流失。生态景观建设则注重人与自然的和谐共生的理念,通过合理规划和设计,创造出既具备生态效益又兼具观赏价值的空间,实现污染土壤修复与生态环境保护的双重目标。

（三）生态环境保护与功能重建

生态修复与景观设计涉及将受损的生态系统恢复至接近自然状态，通过融入景观美学元素，创造既有利于生物多样性保护又具备观赏价值的空间^[13]。在生态修复过程中，应优先选用本地物种进行植被重建，因为本地植物更能适应当地气候条件，其根系发达，有助于稳固土壤，防止水土流失。合理布局植被群落结构，模拟自然演替过程，逐步提升生态系统的稳定性和自净能力。对于受污染严重的区域，引入特定超富集植物吸收土壤中的重金属等污染物，实现植物修复效果。在景观设计方面，充分考虑人类活动需求与生态保护之间的平衡。例如，在公园绿地、河岸带等公共场所，采用透水铺装材料代替传统硬质铺装，增加雨水下渗量，补充地下水资源。通过巧妙的设计手法，让公众在享受自然美景的同时，增强环保意识，积极参与到生态环境保护中来^[14]。在生态补偿资金筹集方面，采取多元化渠道。一方面，让负责人缴纳一定数额的保证金，在完成修复并通过评估后予以退还；另一方面，鼓励社会各界捐赠资金用于支持生态修复项目。

构建差异化土地使用价格体系，对污染地块施行更高使用费标准，以此督促相关责任主体采取积极的污染防治和生态修复措施。这种经济杠杆手段能够促使土地使用者更加重视环境保护问

题，在开发利用土地资源时充分考虑到可能产生的环境影响，首先，提前做好预防工作。对于那些已经受到污染的土地，较高的使用成本会激励原使用者尽快清理污染，恢复土地原有功能，避免长期闲置造成更大损失^[15]。而对于潜在投资者来说，较高的用地成本也会促使他们在投资决策阶段就充分评估环境风险，选择更为绿色可持续的发展模式。政府还可以利用这部分额外收入设立专项基金，用于补贴那些积极参与生态修复工作的企业或个人，进一步调动各方积极性。总之，政府的财政支持在整个生态修复过程中发挥着不可或缺的作用，为实现生态环境的有效保护提供了坚实的物质保障。

三、结束语

综上所述，面对日益严峻的土壤污染形势，社会各界必须共同努力，政府应加大政策支持和资金投入力度，科研机构要不断探索创新治理技术和评估体系，企业需提高环保意识并积极履行社会责任，公众也应增强环境保护观念，从日常生活点滴做起，形成全社会共同参与的良好氛围。最终目标是实现土壤资源可持续利用，保障生态安全，为子孙后代留下一片净土。

参考文献

- [1] 曹琳. 土壤污染防治及农业环境保护措施 [J]. 农村实用技术, 2023(10): 120-121.
- [2] 吴宇. 土壤污染与生态环境保护现状及防治对策 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(12): 110-112.
- [3] 李祥, 赵文艳, 甘晓. 土壤污染问题与生态环境保护措施研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(22): 133-135.
- [4] 刘海龙. 浅析耕地土壤污染现状及修复措施 [J]. 南方农机, 2023, 54(22): 96-98.
- [5] 朱林华. 以某化工企业为例浅谈企业土壤污染防治措施 [J]. 当代化工研究, 2023(24): 100-102.
- [6] 吕能标. 基于环保理念的绿化规划设计中的土壤保护技术 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(5): 60-62.
- [7] 覃鹏, 李园. 土壤污染问题和生环境保护措施研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(14): 136-138.
- [8] 刘茂震. 土壤污染与生态环境保护现状及防治策略分析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(15): 130-131.
- [9] 杨北辰. 土壤污染与生态环境保护的现状与防治策略研究 [J]. 中国厨卫, 2024, 23(11): 259-261.
- [10] 李文龙. 土壤污染防治策略与实践探究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(23): 117-118.
- [11] 闫锡升. 源头入手防治结合打好净土保卫战 [J]. 中国环境监察, 2024, 40(8): 70-71.
- [12] 滕彦国, 左锐, 苏小四, 王金生, 苏洁, 李仙波, 张文静. 区域地下水环境风险评价技术方法 [J]. 环境科学研究, 2014, 27(12): 1532-1539.
- [13] 杨德金, 徐伟, 庞良. 低山丘陵区傍河水源地勘探实践与认识 [J]. 地下水, 2016, 38(1): 101-103.
- [14] 王琰. 城市供水水源地水文地质勘察简析——以襄汾县夏梁水源地为例 [J]. 华北国土资源, 2018(2): 13-16.
- [15] 吴建强, 卢士强, 朱永清, 陈宇, 杨满帆, 陈立, 陈建国, 郭晋川, 熊丽君, 吴健, 唐浩, 王敏. 生态型水源水体生态净化及其影响因素 [J]. 湖泊科学, 2018, 30(3): 619-627.