

Applied Research on Chemical Repair Technology of Defaced Soil

Yan Li^{1,2}

¹Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, the Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

Email: liyan_hhu@163.com

Received: Apr. 2nd, 2019; accepted: Apr. 17th, 2019; published: Apr. 24th, 2019

Abstract

Chemical repair technology is a common and indispensable means of soil fouling repair. This paper summarizes the types of chemical repair technologies based on the repair methods, pollutant characteristics and chemical reaction mechanisms. Further, the principles, characteristics and applicability of chemical repair techniques such as chemical leaching, chemical curing/stability are outlined. Finally, the prospects for its development are prospected.

Keywords

Soil, Defacement, Chemical Repair

污损土体化学修复技术应用研究

李 燕^{1,2}

¹陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

²自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

Email: liyan_hhu@163.com

收稿日期: 2019年4月2日; 录用日期: 2019年4月17日; 发布日期: 2019年4月24日

摘 要

化学修复技术是土体污损修复中常用且不可或缺的手段。本文基于修复方式、污染物特征及化学反应机理总结了化学修复技术类型, 概述了化学淋洗、化学固化/稳定等化学修复技术原理、特征及适用性, 并

文章引用: 李燕. 污损土体化学修复技术应用研究[J]. 环境保护前沿, 2019, 9(2): 215-219.

DOI: 10.12677/aep.2019.92031

对其发展前景进行了展望。

关键词

土体, 污染, 化学修复

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

土体污染是人类社会可持续发展过程中的全球性问题,也是各界研究的热点问题。随着工农业生产发展和乡村城市化,土体污染范围迅速蔓延,污染程度逐渐加剧。根据污染物特征及土体理化性质,利用物理、化学、生物等方法转移、吸收、降解或转化土体中污染物,使其含量降低到可接受水平,或改变污染物在土体中的存在形态或同土壤的结合方式,降低其在环境中的可迁移性与生物可利用性,恢复土体特性和使用功能。化学修复技术相对于其他修复技术来说是发展最早、相对更成熟的修复技术,利用加入到污损土地中的化学修复剂与污染物发生一定的化学反应,使污染物被降解和毒性被去除或降低。

2. 土体化学修复技术分类

污损土体化学修复利用加入到污损土地中的化学修复剂与污染物发生一定的化学反应,使污染物被降解和毒性被去除或降低的修复技术。根据污染土体理化性质、污染物类型及污染程度、处理方式、污染范围与特征等可分不同类型。

1) 按污染修复方式分类

按照污染处理方式,化学修复技术分原位修复和异位修复两种。其中,原位修复在污染原地进行化学修复处理,对受污染的环境介质不做迁移。异位修复将污染介质输送至异地进行化学修复处理,主要适用于污染严重、易造成二次污染、污染土体易搬运或不宜采用原位化学修复的情况。

2) 按污染物特征分类

按照修复污染物类型,化学修复技术分重金属污染修复技术与有机物污染修复技术。

3) 按化学反应机理分类

按照污染土体修复过程中的化学反应类型与机理,化学修复技术分固化处理、电化学、土壤淋洗、化学还原与还原脱氯技术、光催化降解技术、化学氧化、溶剂浸提技术和改良剂法、化学淋洗技术、化学还原与还原脱氯修复技术、化学氧化修复技术、溶剂浸提技术和土壤性能改良修复技术等[1]。

3. 土体化学修复技术特征及应用

3.1. 化学淋洗修复技术

化学淋洗技术借助化学溶剂,利用水力压头将注入到被污染土体中,促进土体中污染物溶解与迁移能力,最后将含有污染物的液体抽提出土体进行分离处理。化学淋洗技术主要分原位化学淋洗与异位化学淋洗,且关键在于淋洗剂的选择。其中,原位化学淋洗技术直接在受污染土体中投加淋洗剂,通过土体下层淋出液收集、处理与再生完成土体修复,修复过程中淋洗剂降解、吸附、螯合、溶解与络合等理

化作用形成可迁移态化合物。原位淋洗技术无需开挖土体、较易操作、高渗透性、费用合理,可修复有机物、重金属等多种污染物,尤其适用于多空隙、渗透性强(水力传导系数 $> 10^{-3}$ cm/s)的土体修复,不适用于渗透性差、质地粗糙土体以及非水溶态、石棉、强吸附于土体和极易挥发的有机物等污染物修复[2][3]。

不同于原位化学淋洗技术,异位化学淋洗技术将污染土体挖出在异地用水或淋洗剂清洗土体、去除污染物,对清洗废液进行处理再生,并将修复后的清洁土体回填或作他用。异位淋洗技术操作的关键是控制土壤颗粒粒径最低下限为 9.5 mm,可通过水力方式机械地悬浮或搅动方式实现,因大于此尺寸的颗粒才较易将污染物从土壤中洗去。对于污染土壤中粒子或砾石含量大于 50%时,异位化学淋洗技术效果显著,而对于污染土壤中黏粒、粉粒含量大于 30%~50%或者腐殖质含量较高时,异位化学淋洗技术分离去除效果较差。化学淋洗技术对于大粒径级别污染土壤的修复更为有效,砂砾、砂、细砂以及类似土壤中的污染物更容易被清洗出来,而粘土中的污染物则较难清洗。一般来说,当土壤中粘土含量达到 25%~30%时,不考虑采用该技术。

3.2. 化学固化/稳定修复技术

化学固化稳定技术利用磷酸盐、硫化物和碳酸盐等化学试剂,与土体中污染反应形成不溶性或迁移性差、毒性较低的物质,降低其生物有效性与潜在生态风险,从而实现污染土体化学修复,主要分为原位固化稳定与异位固化稳定技术。其中,原位固化稳定技术可单独使用,也可与其他修复技术联合使用,但在一定程度上受土体中污染物埋藏深度限制;异位固化稳定技术一般不适于处理有机物和农药污染,不能保证污染物的长期稳定性,且处理过程会显著增加产物体积,主要用于修复同时受多种物质污染的复杂土体,不会造成地下水污染[4]。化学固化稳定化技术可用于修复由难挥发有机或无机有毒有害污染物造成的土壤污染,特别是重金属离子造成的污染,但不适用于挥发性有机物造成的土壤污染。

3.3. 化学氧化修复技术

化学氧化修复技术利用化学氧化剂与土体中污染物发生化学反应,达到污染物降解或转化为低毒性、低迁移性产物。主要用于修复其他修复技术无法有效处理的污染土体,油类、有机溶剂、多环芳烃、农药以及非水溶态氯化物等生物有效性差且长期存在的有机物污染土体。根据所以氧化剂不同,化学氧化修复技术可分 Fenton 法、类 Fenton 法、 H_2O_2 氧化法、 O_3 氧化法、 K_2MnO_4 氧化法和过硫酸盐氧化法等[5](见表 1)。化学氧化修复技术修复速率快、性价比较高,可用于修复有机物污染严重的土体,而对于轻度污染土体则并不经济。

Table 1. Characteristics of chemical oxidation repair technology

表 1. 化学氧化修复技术特征

方法	优点	缺点
Fenton 法	反应速率快、设备简单, Fe^{2+} 和 H_2O_2 无毒且性价比高, 反应过程无需额外光照, 无污染物浓度限制	H_2O_2 消耗量大, 需考虑潜在生态影响和化学物质处理, 化学试剂对工作人员与一定危险
类 Fenton 法	相对 Fenton 法污染物降解效率高、活化 H_2O_2 反应的 pH 值范围宽, 应用前景好	H_2O_2 消耗量大
O_3 氧化法	有效处理无机物和有机物(低挥发性), 沙质土壤效果好	须就地生成 O_3 , 对设备有腐蚀性
H_2O_2 氧化法	绿色环保、无二次污染、适用范围广, 对土体类型与 pH 要求较低	稳定性差, 贮存要求严
过硫酸盐氧化法	有机污染水土修复	土体中钒影响效果
K_2MnO_4 氧化法	稳定性高、持久性好, 操作简单、适用范围广、修复效率高	需确定最佳投加量, 易氧化土体中天然有机质

3.4. 化学还原与还原脱氯修复技术

化学还原与脱氯修复技术利用化学还原剂将污染物还原为难溶态,降低污染物的生物有效性和迁移性以达到修复目的。从而使污染物在土壤环境中迁移性和生物可利用性降低。多用于地下水的污染治理,是目前在欧美等发达国家新兴起来的用于原位去除污染水中有害组分的方法。该方法的核心是构建一个可渗透反应区或可渗透反应墙,并填充以化学还原剂或吸附剂,修复地下水中对还原或吸附作用敏感的污染物如铀、镉、铬酸盐和一些氯代试剂,当这些污染物迁移到反应区时,或被降解、吸附、或者转化成固定态,从而使污染物在土壤环境中的迁移性和生物可利用性降低。通常反应区设在污染土壤的下方或污染源附近的含水土层中[6]。常用的还原剂包括液态、气态和胶体还原剂如 SO_2 , H_2S 气体和 FeO 胶体等。根据污染物的特征,可分别采用不同的吸附剂,如活性铝、铁铝氧石、离子交换树脂、三价铁氧化物和氢氧化物、磁铁、煤、钛氧化物、粘土及沸石等,使污染物通过离子交换、表面络合、表面沉淀以及对非亲水有机物而言的厌氧分解作用等不同机制被吸附、固定。

3.5. 光催化氧化修复技术

1976年 John 等首次研究了光催化技术在环境污染治理方面的应用,光催化氧化技术通过光和金属氧化物、硫化物等催化剂共同作用发生化学反应,以分解、减缓、消除污染物,并因氧化性强、清洁、无二次污染等优点而得到众多学者研究。其中,二氧化钛(TiO_2)为光催化氧化修复技术最重要、最常见的催化剂,由充满电子的低能价带(VB)和空的高能导带(CB)组成,其间为禁带(Es),当受到能量 \geq 禁带能级的光波照射时,价带上的电子被激发,跃迁至导带,生成高活性光生电子(e^-),而在价带上留下带正电的光生空穴(h^+),光生空穴具有强氧化性,可直接夺取吸附在催化剂表面上有机物的电子使其氧化,或与水或氢氧根离子作用,形成氧化能力更强的羟基自由基($\cdot\text{OH}$)将污染物彻底矿化为 CO_2 和 H_2O 。

光催化氧化法具有反应条件温和、氧化能力强、绿色无二次污染等优点。但光催化氧化法也存在一些不足,由于土壤对光的通透性差,其光催化效果会受到一定的影响,因此在实际的土壤修复中,该法往往耗能较大,其修复效果不理想[7]。针对土壤中污染物质种类复杂、修复时间紧等问题,综合应用多种处理技术进行修复是当今土壤修复领域的发展方向,将光催化技术与其它处理技术联合使用,将会达到最佳的修复效果。

4. 土体化学修复技术发展趋势

4.1. 从异位修复向原位修复发展

我国污染土地资源治理、开发需求迫切,污染土体修复周期要求较短,且因基础研究及修复技术应用与发展以借鉴发达国家经验为主等因素,现阶段我国土体污染修复多采用异位修复技术,即将污染土体挖出或将地下水泵出再进行异地或原地异位处理。异位修复技术修复污染土体快速、高效的同时,也不可避免的存在不足:难实现完全修复,受污染地下水易修复不彻底易造成土体二次污染;规模与污染深度大的污染土体采用异位修复时,污染土体挖掘、运输、堆放及设备维护等成本较高;环境破坏大,作业风险高[8]。相反,原位修复技术无需运输、可修复深层污染土体与地下水,相对异位修复更为彻底、经济、破坏小,并可对深层土壤和地下水进行修复。随着修复技术的不断发展成熟,污染土体原位修复技术将得以快速发展与广泛应用。如美国超级基金污染场地修复项目,从1982到2005年期间的977个项目中,原位修复技术累计使用占比47%,其中2002~2005年原位修复技术使用比例达到了60%。

4.2. 从单项修复技术向综合修复技术发展

我国污染场地土体中污染物种类众多、污染程度差异大、复合污染普遍,场地水文地质条件各异,

加之区域经济发展不同, 仅用传统单项修复技术很难在规定期限达到修复目标。为了提高修复效率, 须发展协同联合综合修复模式, 按照污染土体的特征联合物理、化学和生物修复技术综合使用, 因地制宜的采取最为高效经济的修复技术成为必然趋势。

4.3. 修复技术向绿色与环境友好型发展

土壤污染修复技术的发展趋势是既能有效消除有毒有害的污染物, 又不能破坏土壤的生态环境功能, 不应在修复的过程中产生二次污染。

4.4. 水土共治

污染场地是由土壤和地下水共同构成的有机统一体, 降水与地表径流垂直入渗以及地下水流经受污染土壤时, 污染物将从土壤相以溶解和解吸等作用进入地下水相, 而经污染的地下水在流经未污染或已修复的土壤时, 其中的污染物亦会通过土壤的吸附作用从地下水相传递到土壤相上。这种土壤和地下水的相互作用, 使场地修复中土壤和地下水联合治理显得尤为重要, 重土壤而忽视地下水导致场地二次污染风险巨大。因此, 土体修复必须基于精准的场地调查、再次开发利用途径与区域自然环境特征, 以水-土一体化修复为基础。

5. 结论与展望

污染土体化学修复技术高效、快速、修复污染物种类多, 在场地土体污染治理修复中得到广泛应用。从污染物处理方式、种类特征和反应机理等三个方面总结了化学修复技术类型、特征和应用研究状况。分析了土壤系统中化学淋洗、固化/稳定、化学氧化、化学还原与还原脱氯以及光催化氧化等修复技术化学机理及应用特征。展望了污损土体化学修复从异位、单项的修复技术到原位、多项综合的环境友好型修复技术, 以及从土体转向水土一体化共治的发展趋势, 为污染场地化学修复技术应用与发展研究提供基础参考。

参考文献

- [1] 周启星. 污染土壤修复的技术再造与展望[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(8): 36-40.
- [2] 武晓风, 唐杰, 藤间幸久. 土壤、地下水中有有机污染物的就地处置[J]. 环境污染治理技术与设备, 2000, 1(4): 46-51.
- [3] Freeze, G.A., Fountain, J.C., Pope, G.A., *et al.* (1995) Modeling the Surfactant Enhanced Remediation of Perchloroethylene at the Brden Test Site Using the UCHEM Compositional Simulator. In: Sabatini, D.A., Knox, R.C. and Harwell, J.H., Eds., *Surfactant-Enhanced Subsurface Remediation Emerging Technologies*, American Chemical Society, Washington, DC.
- [4] 王永强, 蔡信德, 肖立中. 多金属污染农田土壤固化/稳定化修复研究进展[J]. 广西农业科学, 2009, 40(7): 881-888.
- [5] 于颖, 周启星. 污染土壤化学修复技术研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2005, 6(7): 1-7.
- [6] 刘长波, 岳昌盛, 马刚平, 等. 污染场地土壤修复技术发展现状[C]//中国环境科学学会. 中国环境科学学会学术年会论文集: 2013 年卷. 2013: 4987-4991.
- [7] 饶晨曦, 龙来早. 土壤修复技术研究现状[J]. 广东化工, 2018, 45(364): 156-158.
- [8] Urum, K., Pekdemir, T. and Ross, D. (2005) Crude Oil Contaminated Soil Washing in Air Sparging Assisted Stirred Tank Reactor Using Biosurfactants. *Chemosphere*, **60**, 334-343. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.12.038>

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