

Research on Repair Technology and Application of Industrial Site

Yan Li

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

²Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

³Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

⁴Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi
Email: liyan_hhu@163.com

Received: Jul. 2nd, 2020; accepted: Jul. 24th, 2020; published: Jul. 31st, 2020

Abstract

Large numbers of industrial sites are generated during the process of upgrading the urban economic industry structure and adjusting the industrial layout. The research and development and engineering application of site restoration technologies are particularly urgent. According to the characteristics of the site and pollutants, the industrial site remediation technology is summarized and classified, and the application characteristics and influencing factors of typical physical remediation, chemical remediation and biological remediation technology are compared and analyzed, which is the choice and application of industrial site remediation technology. At the same time, it analyzes the typical site survey and assessment and repair companies in recent years. The industry is still in the stage of site survey, risk assessment and prevention and control. The research and development and engineering application of advanced site repair technologies need further research.

Keywords

Industrial Site, Restoration Technology, Application Research

工业场地修复技术应用研究

李 燕^{1,2,3,4}

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陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

³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

⁴陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安
Email: liyan_hhu@163.com

收稿日期: 2020年7月2日; 录用日期: 2020年7月24日; 发布日期: 2020年7月31日

摘要

城市经济产业结构升级、布局调整过程中产生大量工业遗弃场地, 场地修复技术的研发与工程应用尤为迫切。根据场地环境与污染物特性, 对工业场地修复技术进行了归纳分类, 并对典型的物理修复、化学修复和生物修复技术的应用特征及影响因素进行了对比分析, 为工业场地修复技术的选择与应用提供参考。此外, 分析近年来典型场地调查评估修复从业单位, 目前行业处于场地调查、风险评估与防控阶段, 对于场地修复先进技术的研发及工程应用还有待进一步发展。

关键词

工业场地, 修复技术, 应用研究

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

场地环境污染是城市发展中不可避免的普遍性问题, 城市规模扩张与经济结构转型过程中产生大量工业遗留场地, 而治理污染废弃场地、发挥土地利用价值、合理开发已是各地面临的重要环境挑战。随着工农业生产发展和城镇化过程加快, 场地污染范围迅速蔓延, 对区域生态环境、城市建设及社会经济发展甚至人体健康产生不可忽视的影响[1]。工业场地修复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、降解或转化环境介质中的污染物, 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[2]。而合理可行的修复技术的选择是场地修复的关键, 技术的类型、实施方式、修复效果受场地环境条件、修复目标和污染物的种类、污染程度、污染范围等因素的综合影响。

2. 污染场地修复技术分类

污染场地概念的界定对污染场地的识别和分类管理至关重要。美国环保署定义污染场地是被危险物质污染需要治理、修复的土地。加拿大标准协会将污染场地定义为: 有害物质存在于空气、水体、土壤等介质中, 可能对生态环境和人体健康产生负面影响的地域。各国对污染场地的定义各有差异, 但均指某个特定的区域、空间或场地含污染物的浓度超过环境背景值, 并对此空间或区域的人体健康及自然环境已经造成或可能造成负面影响[3]。根据污染物、处理方式与修复反应机理和环境介质等, 将污染场地修复技术划分不同类型(表 1)。其中, 按污染物特征可分为重金属修复技术、有机污染物修复技术、复合污染修复技术; 按反应机理可分为物理修复技术、化学修复技术、生物修复技术和联合修复技术。

Table 1. Classification of remediation technologies for contaminated sites**表 1.** 污染场地修复技术分类

依据	分类
污染物处理方式	原位修复、异位修复
污染物特征	重金属修复、有机污染物、复合污染修复技术
反应机理	物理修复、化学修复、生物修复、联合修复
环境介质	土壤修复、水体修复、大气环境治理

3. 污染场地修复技术特征

3.1. 物理修复技术

污损土地的物理修复是指通过改变土体的物理性质,将污染物与土体分离或转化为低毒、无毒物质,从而使污染物得到有效控制。主要的物理修复技术包括:土壤气相抽提技术、热脱附技术、阻隔填埋技术、电动修复技术以及土壤混合/稀释技术等(表 2)。物理修复技术可与化学修复、生物修复等技术联合应用。

Table 2. Physical remediation technology and influencing factors for contaminated sites**表 2.** 污染场地物理修复技术及影响因素

技术	特点	影响因素
气相抽提[4]	适用于低水溶性的挥发与半挥发性有机物(如汽油、JP-4 型石油、煤油或柴油等挥发性较强的石油类污染物),修复土体渗透性良好;对于容重大、土壤含水量大、孔隙度低或渗透速率小效果较差	土壤结构、渗透性、湿度及分层状况,环境温度,污染物蒸气压
热脱附[5]	适用于受多种污染物污染的场地,设备可移动、修复后土壤可再利用;不适用于无机物污染(汞除外)以及腐蚀性有机物、活性氧化剂和还原剂含量较高的土壤	土壤质地,污染物浓度、理化性质(如沸点)
阻隔填埋	适用于重金属、有机物污染土壤的阻隔填埋;不适用于污染物水溶性强或渗透率高的污染土壤、地质活动频繁与地下水水位较高的场地修复	阻隔材料的性能、阻隔系统深度、土壤覆盖层厚度
电动修复	适用于提取污染场地重金属,去除有机污染物	土壤 pH、化学性质(如吸附性、可电解性)
混合/稀释	适用于浓度较低、无危险性或渗流区(低含水量),一般去其他技术联合使用	污染物分布、浓度,修复目标值

3.2. 化学修复技术

污染场地化学修复技术主要通过加入化学试剂与污染物发生一系列化学反应,迫使污染物含量减低、毒性减弱或被降解。一般修复效率高、速率快、修复污染物种类多,在场地污染修复中得到广泛应用。根据场地土壤理化性质、污染物类型及修复技术应用条件等可分为不同类型,最成功、应用最多的技术有化学淋洗、化学固化/稳定化、化学氧化等(见表 3)。

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,目前场地土壤污染修复多采用异位修复技术,修复效率高、速率快,但同时不可避免的存在难以完全修复、对地下水易造成二次污染等不足。随着场地污染修复技术的研究与革新,今后将向扰动小、成本较低、更加经济的原位修复发展;鉴于场地重金属与有机物污染多同时存在,传统的单项修复技术污染满足修复要求,发展在那多项技术联合修复技术成为必然趋势[6]。

Table 3. Typical chemical remediation technology and application characteristics**表 3.** 典型化学修复技术及应用特点

技术	分类	特点
化学淋洗[7]	原位淋洗	无需开挖土体、高渗透性、费用合理, 适用于污染物复杂的多空隙、渗透性强土壤; 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
	异位淋洗	适用于粒径不小于 9.5 mm 的土壤; 不适用于粘土含量达到 25%~30% 的土壤
化学固化/稳定化[8]	原位固化/稳定化	可单独与其他技术联合使用, 在一定程度上受土体中污染物埋藏深度限制
	异位固化/稳定化	用于修复同时受多种物质污染的复杂土壤, 不影响地下水; 不适用于处理有机物和农药污染
化学氧化[9]	类 Fenton 法、H ₂ O ₂ 氧化法等	主要用于修复其他修复技术无法有效处理的污染土壤
化学还原与还原脱氯[10]		用于地下水污染修复, 技术核心为可渗透反应区或可渗透反应墙建立, 墙内填充化学还原剂或吸附剂。常用的还原剂有液态、气态和胶体还原剂如 SO ₂ 、FeO 胶体等
光催化氧化[11]		反应条件温和、氧化能力强、绿色无二次污染, 但能耗大、修复效果较理论值相差较大

3.3. 生物修复技术

生物修复基础研究始于 20 世纪 80 年代, 美国阿拉斯加 Exxon Vallez 石油泄漏引起的海岸线污染修复中成功应用生物修复技术引起了世界各国的关注与研究[12]。生物修复技术利用生物新陈代谢及配套措施, 在自然条件或人为干预下降解、消耗污染物而实现土壤修复, 技术投资低、效果好、环境友好。根据采用的生物类型, 生物修复技术分微生物修复、植物修复、动物修复等(表 4)。其中, 微生物修复技术利用场地土著微生物或人为投加的外源微生物生长、代谢活动, 在适宜的条件下转化、降解、去除污染物[13], 广泛用于场地土壤、水重金属、有机物污染修复, 修复效果主要求微生物自身活性、环境介质条件以及污染源强、可降解性影响。

超富集植物筛选是植物修复技术应用的关键, 不同种类植物对污染物修复效果存在差异, 植物生长速度、根系发育、收割、富集容量等直接影响其修复效果。此外, 植物修复重金属、有机污染物主要受污染源强、复杂程度、滞留时间、赋存形态和土壤(水体)理化性质、气象条件等因素影响。动物修复场地效果则由土壤理化性质、营养成分与污染程度、污染物种类、毒理学特征以及土壤动物吸收速率、吸收容量等众多因素决定[14]。

Table 4. Bioremediation technology characteristics and influencing factors**表 4.** 生物修复技术特性及影响因素

技术	特点	影响因素
微生物修复[15]	原位修复	不破坏土体/水体结构情况下, 直接在污染源及其残留部位, 通过培养或加入微生物与生物通气、生物注气、生物冲淋等方法进行修复
	异位修复	采用土著微生物或外源生物降解菌, 适用于污染严重、易造成二次污染、污染受体易搬运或不宜采用原位生物修复的情况
植物修复[16]	利用植物转移、容纳、转化污染物, 可用于重金属、有机物、放射性污染土壤与水体修复, 不占额外土地、环境效益好、成本较低。但存在富集植物种类少、修复周期长以及对修复对象营养状况有要求等局限性	植物生长特性; 污染源强及在环境中的赋存形态; 环境介质理化性质(pH、有机质等)
动物修复[17]	动物对场地污染土壤与水体有较好的指示作用, 可用于评估场地污染对人体健康的影响以及场地修复效果验证等	动物的生物指示作用、环境要素、污染源性质

4. 工业污染场地修复现状

为了加强保护和改善生态环境,防治土壤污染,保障公众健康,国家实行建设用地土壤污染风险管控和修复名录制度,建设用地土壤污染风险管控和修复名录由省级人民政府有关部门制定,适时向社会公布,并根据风险管控、修复情况适时更新。列入建设用地风险管控名录的工业场地,不得直接作为住宅、公共管理与公共服务用地,严格控制有毒有害物质排放,严防有毒有害物质渗漏、流失、扬散。必要时,可采取划定隔离区域、开展土壤及地下水污染状况监测评估等措施,也可结合城市土地利用规划、城乡规划编制修复方案,对场地进行修复治理。特别的,对于未达到土壤污染风险评估报告确定的风险管控、修复目标的建设用地地块,禁止开工建设任何与风险管控、修复无关的项目。

近年来,我国环境修复产业联盟组织开展的污染场地调查评估修复从业单位筛选与推荐单位,在一定程度上反应了国内场地修复行业发展状况[18]。统计三批推荐名录(见图 1),三批推荐名录所公布的从业单位依次为:52家>29家>22家。显然,现阶段对于工业污染场地多处于调查评估阶段,其中从事调查评估的单位最多共计37家,占名录中所有单位的35.92%;其次为修复工程设计与施工单位,分别有25家和17家,占推荐名录的24.27%和16.50%;从事修复验收的单位最少,仅有第一批的4家。由此可见,对于场地修复技术及其应用机理研究尚待进一步发展,特别是修复技术的工程化应用与推广。

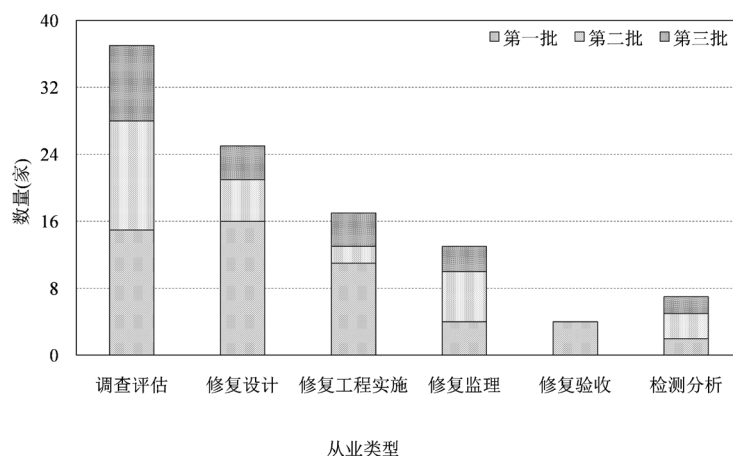


Figure 1. Recommended directory of site survey, assessment, and restoration practitioners

图 1. 场地调查评估修复从业单位推荐名录分析

5. 结论与展望

场地修复是城市遗弃的工业污染土地开发利用的必要前提,工业场地修复技术研究长期受到各界关注。工业场地修复以去除(降低危害)污染物、恢复土地质量、再次开发利用以及人居环境健康为目的。土壤复合污染修复多涉及不同技术间的配合应用,但目前部分技术还处于实验室或中试阶段,尚无成熟的工程实施经验。因此,迫切需要进一步健全工业场地修复法律法规体系,研发针对多种污染物的联合修复技术并应用于实际工程中,为工业场地修复及开发提供技术参考。

基金项目

长安大学中央高校基本科研业务费专项资金资助(300102279501)。

参考文献

- [1] 李雪, 杨俊杰. 工业污染场地修复技术、现状及展望[J]. 河南科技, 2019(16): 147-149.
- [2] 曾宪坤. 联合修复技术在工业遗留污染场地治理中的应用[J]. 有色金属(冶炼部分), 2019(12): 92-95.
- [3] 赵宇明, 谷小兵, 李俊儒. 污染场地修复技术分类研究与案例分析[J]. 能源环境保护, 2016, 30(6): 31-33 + 9.
- [4] 王澎, 王峰, 陈素云, 等. 土壤气相抽提技术在修复污染场地中的工程应用[J]. 环境工程, 2011(S1): 171-174.
- [5] 杨丽琴, 陆泗进, 王红旗. 污染土壤的物理化学修复技术研究进展[J]. 环境保护科学, 2008(5): 42-45.
- [6] 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>
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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. 北京: 中国环境科学出版社, 2013: 4987-4991.
- [11] 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.
- [12] Dean, N. and Berti, W.R. (1992) Advancing Research for Bioremediation. *Environmental Problems*, **3**, 19-25.
- [13] 罗义, 毛大庆. 生物修复概述及国内外研究进展[J]. 辽宁大学学报(自然科学版), 2003, 30(4): 298-302.
- [14] 周启星, 宋玉芳. 污染土壤修复原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [15] 张强, 郑立稳, 孔学, 等. 助剂对石油污染土壤生物修复的强化作用[J]. 山东科学, 2015, 28(1): 78-81.
- [16] Sas-Nowosielska, A., Kucharski, R., Małkowski, E., et al. (2004) Phytoextraction Crop Disposal—An Unsolved Problem. *Environmental Pollution*, **128**, 373-379. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.09.012>
- [17] Santoyo, M.M., Flores, C.R., Torres, A.L. and Wrobel, K. (2011) Global DNA Methylation in Earthworms: A Candidate Biomarker of Epigenetic Risks Related to the Presence of Metals/Metalloids in Terrestrial Environments. *Environmental Pollution*, **159**, 2387-2392. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.041>
- [18] 郑苇, 高波, 闵海华, 刘淑玲. 我国污染场地修复技术应用现状与发展研究[J]. 环境卫生工程, 2019, 27(3): 6-8.