

污染土的修复技术研究现状

韩文君¹, 刘松玉¹, 严红霞²

(1. 东南大学交通学院, 南京 210096; 2. 扬州大学建筑科学与工程学院, 扬州 225009)

摘要: 污染土的修复是环境岩土工程研究领域的一个新课题, 本文从污染土的研究现状出发, 简要介绍污染土试验测试技术, 重点总结了污染土的修复技术。污染土常见的处理技术目前大致可归纳为 4 类, 即物理修复技术、化学修复技术、植物修复技术和生物修复技术等。每一大类修复技术根据修复原理的不同, 又可进一步细化, 分别对不同修复技术的优缺点进行了讨论, 得到了一些有益的结论, 并对以后的研究进行展望。

关键词: 污染土; 试验测试技术; 修复技术

作者简介: 韩文君(1984—), 男, 江苏宝应人, 东南大学在读硕士研究生。

0 引言

随着我国国民经济飞速发展, 一些传统性的产业对环境特别是土体产生一定程度的污染。所谓污染土^[1~3]是指由于外来致污物质侵入土体改变了原生性状的土。通常是由于地基土受到生产及生活过程中产生的三废污染物(废气、废液、废渣)侵蚀, 使土性发生化学变化。在工程中, 污染土可以引起地基强度降低, 导致建筑物失稳或破坏, 引发一系列工程质量事故, 因此研究污染土的修复技术, 因地制宜采取整治措施, 对于稳定建设工程质量、保护环境具有重要意义。

本文介绍了污染土的评价方法、污染土试验测试技术、污染土的修复技术, 其中详细介绍了污染土的修复技术。污染土常见的处理技术目前大致可归纳为 4 类^[4, 5], 即物理修复技术、化学修复技术、植物修复技术、生物修复技术等。根据修复原理的不同, 又可进一步细化, 分别对不同修复技术的优缺点进行了讨论, 得到了一些有益的结论, 并对以后的研究进行展望。

1 污染土的试验测试技术^[6~9]

目前, 国内有关污染土的性质研究都是针对具体的工程实例, 都是应用岩土工程勘察的常规方法, 如钻探、物探、各种原位测试、室内土土试验等, 专门用于污染土的试验仪器和勘察设备还

很少。韩立华等人^[9]研制和开发了电阻率污染土检测仪, 实现应用土体的固有参数——电阻率来对污染土进行检测。

1.1 室内试验

室内常规土土试验^[7]得出的一般指标, 用来比较污染前后以及不同污染程度下的物理力学性能。为了研究土-污染物相互作用必须进行化学分析, 包括土的全量分析、矿物矿相分析、某元素(或某化合物)的定量分析、易溶盐含量、有机质含量、pH 值、水中污染物含量、水对金属和混凝土的侵蚀性等项目。

由于人们对污染土的特性还没有全面了解, 在对污染土进行的研究中, 一般都开展了一些污染模拟试验, 目前开展的模拟试验主要有以下两种类型^[8]: 浸泡试验、淋滤试验。

1.2 现场试验

边际等^[10]为了评价碱厂废液排放池内的 CaCl_2 溶液对相距 1 km 的盐湖是否会受到污染, 在现场进行了废液渗入和在土中运移的模拟试验, 并从不同的角度作出了报道。总体来说, 现场试验的研究成果还很少。

2 污染土修复技术

目前, 污染土的修复得到了世界各国的广泛重视, 国内外学者对修复技术进行了系统的研究^[11~13]。污染土常见的处理技术目前大致可归纳为 4 类, 即物理修复技术、化学修复技术、植物

修复技术、生物修复技术等。本文将从以上几个方面对污染土的修复技术进行总结。

2.1 污染土物理修复技术

在美、英等发达国家,污染土的物理修复作为一大类污染土修复技术,近年来得到了前所未有的重视,与此同时也得到了多方位的发展。物理修复^[4, 14]主要包括物理分离修复、蒸气浸提修复、固定/稳定化修复、玻璃化修复、热力学修复和电动力学修复等技术。

(1) 物理分离修复技术

物理分离修复技术是一项借助物理手段将重金属颗粒从土胶体上分离开来的技术。通常情况下,物理分离技术被作为初步的分选,以减少待处理土体的体积,优化以后的序列处理工作。物理分离技术主要用无机污染物的修复处理上。一般来说,物理分离修复技术不能充分达到土体修复的要求。

(2) 蒸气浸提修复技术

蒸气浸提修复技术^[15]是指通过降低土体孔隙的蒸气压,把土体中的污染物转化为蒸气形式而加以去除的技术。蒸气浸提技术的显著特点是:可操作性强、处理污染物的范围宽、不破坏土体结构以及对回收利用废物有潜在价值等。

影响蒸气浸提修复技术修复效果的因素有:土体容重、孔隙比、含水率、温度、有机质含量、空气传导率以及地下水深度等。该技术适用于高挥发性化学污染土壤的修复,如汽油、苯和四氯乙烯等污染的土体。

(3) 固化/稳定化修复技术

固化/稳定化技术^[16]是指防止或者降低污染土释放有害化学物质过程的一组修复技术。固化是指将污染物包被起来,使之呈颗粒状或大块状存在,进而使污染物处于相对稳定的状态。稳定化是指将污染物转化为不易溶解、迁移能力或毒性变小的状态和形式,即通过降低污染物的生物有效性,实现其无害化或者降低其对生态系统危害性的风险。

实践表明,与其他技术相比,有以下几个方面的优点:①可以处理多种复杂金属废物;②费用低廉;③加工设备容易转移;④所形成的固体毒性降低,稳定性增强,等等。

(4) 玻璃化修复技术

玻璃化修复技术^[17]包括原位和异位玻璃化两

个方面。原位玻璃化技术是指通过向污染土体中插入电极,对污染土固体组分给予 $1\ 600\sim 2\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温处理,使有机污染物和一部分无机化合物如硝酸盐、硫酸盐和碳酸盐等得以挥发或热解从而从土体中去除的过程。其中,有机污染物热解产生的水分和热解产物由气体收集系统收集进行进一步处理。熔化的污染土冷却后形成化学惰性的、非扩散的整块坚硬玻璃体,有害无机离子得到固定化。原位玻璃化技术适用于含水量较低、污染物深度不超过 6 m 的土体。原位玻璃化技术的处理对象可以是放射性物质、有机物、无机物等多种干湿污染物质。

(5) 热力学修复技术

热力学修复技术利用热传导(如热井和热墙)或辐射(如无线电波加热)实现对污染土修复的一种修复技术,包括高温($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$)原位加热修复技术、低温($<100\text{ }^{\circ}\text{C}$)原位加热修复技术和原位电磁波加热修复技术等。与玻璃化技术有所不同的是,热力学修复技术即使是高温加热修复,其温度也相对较低。

(6) 电动力学修复技术

电动力学修复技术^[18~20]是利用插入土体中的两个电极在污染土两端加入低压直流电场,在低强度直流电的作用下,水溶的或者吸附在土颗粒表层的污染物根据各自所带电荷的不同而向不同的电极方向运动;阳极附近的酸开始向土体孔隙孔移动,打破污染物与土体的结合键,此时,大量的水以电渗透方式在土体中流动,土体孔隙孔中的液体被带到阳极附近,这样就将溶解到土体溶液中的污染物吸收至土表层而得以去除。其主要运动机制有电迁移、电渗流以及电泳等。

电动力学技术主要用于低渗透性土体的修复,适用于大部分无机污染物,也可用于对放射性物质及吸附性较强的有机物的治理。与其他技术相比,电动力学技术在金属污染修复方面有其独特的优势:①对现有景观、建筑和结构等的影响最小;②改变土体中原有成分的pH值使金属离子活化。③金属离子从根本上完全被去除;④对有机和无机污染物部有效果,等等。

2.2 污染土的化学修复

污染土的化学修复是利用加入到土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。相对于

其他污染土修复技术来讲,化学修复技术发展较早,也相对成熟。目前,化学修复技术主要涵盖以下几方面的技术类型:①化学淋洗技术;②溶剂浸提技术;③化学氧化修复技术;④化学还原与还原脱氯修复技术;⑤土体性能改良修复技术等。

(1) 化学淋洗修复技术

化学淋洗修复技术^[21]是指借助能促进土中污染物溶解或迁移作用的化学/生物化学溶剂,在重力作用下或通过水力压头推动清洗液,将其注入被污染土层中,然后再把包含有污染物的液体从土层中抽提出来,进行分离和污水处理的技术。

化学淋洗技术修复污染土有很多优点^[22~23],如长效性、易操作性、高渗透性、费用合理性(依赖于所利用的淋洗助剂),并且适合治理的污染物范围很广。重金属、具有低辛烷/水分配系数的有机化合物、羟基类化合物、低分子量乙醇和羧酸类比较适合采用这项技术。淋洗技术不适用于非水溶性液态污染物、极易挥发的有机物以及石棉等。

(2) 溶剂浸提技术

溶剂浸提技术^[24]是一种利用溶剂将有害化学物质从污染土中提取出来或去除的技术。在原理上,溶剂浸提修复技术是利用批量平衡法,将污染土挖掘出来并放置在一系列提取箱内,在其中进行溶剂与污染物的离子交换等化学反应。当监测表明,土中的污染物基本溶解于浸提剂时,再借助泵的力量将其中的浸出液排出提取箱并引导到溶剂恢复系统中。按照这种方式重复提取过程,直到目标土中污染物水平达到预期标准。

溶剂浸提技术适用于修复以下有机污染物污染的土体。一般来说,溶剂浸提技术不用于去除重金属和无机污染物。

(3) 原位化学氧化修复技术

原位化学氧化修复技术主要是通过掺进土中的化学氧化剂与污染物所产生的氧化反应,使污染物降解或转化为低毒、低移动性产物的一项修复技术。原位化学氧化修复技术主要用来修复被油类、有机溶剂、多环芳烃、PCP、农药以及非水溶态氯化物(如 TCE)等污染物污染的土体。技术缺点是加入氧化剂后可能生成有毒副产物,使土生物量减少或影响重金属存在形态。

(4) 土体性能化学改良修复技术

土体性能化学改良技术是对于污染程度较轻的土体,根据土中污染物的特性,向土体中施加某

些化学改良剂和吸附剂,如石灰、磷酸盐、堆肥、硫磺、高炉渣、铁盐以及黏土矿物等,从而达到修复的目的。

2.3 污染土的植物修复^[4, 21]

植物修复技术就是直接利用活的绿色植物原地净化污染土、有害固体废弃物、污泥、工业污水、污染地下水等污染介质。目前它主要用于处理污染物含量为低—中等的污染土。植物把金属元素固定在植物中或从土或地下水中转移出去的方式主要有:植物提取、根系过滤、植物的稳定作用。植物对有机物的净化机理主要有:植物降解、根系降解、植物的蒸发作用。实践证明,该方法的处理成本低,可处理的污染物类型有金属元素(包括放射性金属元素)、农药、溶剂(如 TCE)、炸药、原油、聚芳香烃、垃圾填埋淋滤物质等。同时,它也有一定的局限性,主要表现在以下几个方面:①修复植物对污染物质的耐性是有限的,超过其忍耐程度的污染土并不适合于植物修复;②污染土往往是有机、无机污染物共同作用的复合污染,一种修复植物或几种修复植物相结合往往也难以满足修复要求;③修复植物生长周期一般较长,难以满足快速修复污染土的需求,等等。

2.4 污染土的生物修复

生物修复,是生物催化降解有机污染物,从而修复被污染环境或消除环境中污染物的过程。生物修复的种类很多^[26, 27],大致可分为生物注射法、生物反应器处理、堆肥法、生物耕作、有机黏土法等。

生物修复技术虽然已经取得了长足的发展,但由于受生物特性的限制、生物修复技术还存在着许多的局限性^[28, 29]:①微生物不能降解污染环境中的所有污染物;②生物修复要求对地点状况的工程前考察往往费时、费钱;③一些低渗透性土体往往不宜采用生物修复技术;④特定的微生物只降解特定的化合物类等。

3 展望

本文综述了污染土的修复方法,主要包括物理修复技术、化学修复技术、植物修复技术和生物修复技术等。植物及生物修复技术具有快速、高效、费用低廉的优点,被称为是一种环境友好替代技术,近年来该技术在海外显现出良好的开发前

景。然而,植物及生物修复技术本身是一项复杂的系统工程,需要对生物修复过程复杂性、污染物降解过程和降解机制进行深入研究。相对于其他污染土壤修复技术来讲,化学修复技术发展较早,也相对成熟,但是到目前为止,大规模的实地应用还是十分有限。而物理修复方法,在工程得到广泛的应用,尤其是电动修复技术更是得到重视,有着广泛的的应用的前景。污染土的处理方法很多,使用时须根据具体的场地条件、污染物的类型和浓度来选择恰当的方法。不同的处理方法,成本往往相差很大,使用时需要慎重考虑。无论是选择哪一种技术,场地的修复费用均不低,因此防止二次污染才是上上策。

在世界上许多国家,尤其在中国,污染土地的面积在迅速扩大,迫切须要修复与治理。目前的污染并不仅是单一的污染,而是逐渐呈复合污染趋势,随着土污染组分的日益复杂化,等待着全面与高效的修复技术的研制,这需要生化、岩土、地质等多学科知识,需要广大科学工作者的共同努力,为创造良好的环境而努力!

参 考 文 献

- [1] Kooper W F, Mangnus G A. Contaminated Soil[M]. Boston: Martinus Nijhoff Publishers, 1986: 25~27.
- [2] GB 50021—94 岩土工程勘察规范[S].
- [3] 工程地质手册编写委员会. 工程地质手册[M]. 3 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.
- [4] 周启星, 宋玉芳, 等. 污染土壤修复原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [5] 薛翊国, 王清, 李伟涛, 等. 污染土的研究现状及其评价与处理方法[J]. 煤田地质与勘探, 2005, 33(1): 49~51.
- [6] 饶为国. 污染土上的机制、检测及整治[J]. 建筑技术开发, 1999, 26(1): 20~21.
- [7] 朱春鹏, 刘汉龙. 污染土的工程性质研究进展[J]. 岩土力学, 2007, 28(3): 625~630.
- [8] 陈先华, 唐辉明. 污染土的研究现状及展望[J]. 地质与勘探, 2003, 39(1): 77~80.
- [9] 韩立华, 刘松玉, 杜延军. 一种检测污染土的新方法——电阻率法[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(8): 1028~1032.
- [10] 边际, 邵益生, 蔡铃才. 碱厂废液入渗现场模拟试验及其在环境评价中的应用[J]. 工程勘察, 1991(5): 3~5.
- [11] 蓝俊康. 污染场地修复技术的种类[J]. 四川环境, 2006, 25(3): 90~94.
- [12] 刑巍巍, 胡黎明. 土壤污染修复技术研究[C]. 中国土木工程学会第九届土力学及岩土工程学术会议论文集. 北京, 2003: 25~28.
- [13] 许丽萍, 李韬, 陈晖. 国内外污染土的修复治理现状[J]. 第二届全国岩土与工程学术大会论文集. 北京: 科学出版社, 2006: 861~863.
- [14] 蒋小红, 喻文熙, 江家华, 等. 污染土壤的物理/化学修复[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(3): 210~214.
- [15] Gierke J S, Hutzler N J, McKenzie D B. Vapor transport in un-saturated soil columns; Implications for vapor extraction [J]. Water Resources Research, 1992, 28(2): 323~335.
- [16] Conner J R, Hoefner S L. The history of Stabilization/Solidification technology[J]. Critical Review Environmental Science and Technology, 1998, 28(4): 325~396.
- [17] Katsunori Nishida, Yoshikazu Nagayoshi, Hitoshi Ota, et al. Melting and stone production using MSW incinerated ash [J]. Waste Management, 2001, 21(5): 443~449.
- [18] 孟凡生, 王业耀. 污染土壤电动修复研究进展[J]. 污染防治技术, 2005, 18(5): 11~14.
- [19] 梁志刚, 柯瀚, 陈云敏, 等. 污染土的动电修复机理及应用中的关键问题[C]. 第一届全国环境岩土工程与土工合成材料技术研讨会论文集. 杭州: 浙江大学出版社, 2002: 211~216.
- [20] Agar Y R, Alshawabkeh A N. Principles of Electrokinetic Remediation[J]. Environ. Science. Technology, 1993, 27(13): 26~38.
- [21] 周启星. 污染土地就地修复技术研究进展及展望[J]. 污染防治技术, 1998, 11(4): 207~211.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Lee D H, Cody R D, Kim D J. Surfactant recycling by solvent extraction in surfactant-aided remediation. Separation and Purification Technology, 2002, 27(1): 77~82.
- [25] 蓝俊康. 植物修复技术在污染治理中的应用现状[J]. 地质灾害与环境保护, 2004, 15(1): 46~51.
- [26] 陈坚. 环境生物技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 324~325.
- [27] 郭远凯. 污染场地的生物修复技术[J]. 嘉庆大学学报: 自然科学版, 2001, 19(3): 33~35.
- [28] 宋玉芳, 宋雪英, 张薇, 等. 污染土壤生物修复中存在问题的探讨[J]. 环境科学, 2004, 25(2): 129~133.
- [29] 汪小勇, 张超兰, 姜文. 污染土壤的修复技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(1): 128~129.