

Application of Plasma Technology in Soil Pollution Control

Lirong He^{1,2,3,4}

¹Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an Shaanxi

²Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co. Ltd., Xi'an Shaanxi

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

⁴Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi
Email: 156144982@qq.com

Received: May 29th, 2020; accepted: Jun. 21st, 2020; published: Jun. 28th, 2020

Abstract

Due to the population growth and the rapid development of industry, solid wastes are piled and dumped on the soil surface continuously, harmful wastewater is continuously permeated into the soil, and harmful gases and dust in the atmosphere are constantly falling on the soil with rain, resulting in soil pollution. At present, there are four main methods to control contaminated soil: physical method, chemical method, biological method and plasma method. Among them, plasma method is an emerging technology in recent years, which has a high degradation rate for the treatment of soil pollution, a wide range of application and almost no waste water, waste gas and waste residue without adding any material, etc. However, the problems caused by its impermanence, instability and complex diversity still need to be further explored and solved.

Keywords

Soil Pollution, Repair Technology, Plasma

等离子体修复技术在土壤污染治理中的应用

何俐蓉^{1,2,3,4}

¹陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

²陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 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: 156144982@qq.com

收稿日期: 2020年5月29日; 录用日期: 2020年6月21日; 发布日期: 2020年6月28日

摘要

由于人口增长、工业迅速发展，固体废物不断向土壤表面堆放和倾倒，有害废水不断向土壤中渗透，大气中的有害气体及飘尘也不断随雨水降落在土壤中，导致了土壤污染。目前主要治理污染土壤的方法有物理法、化学法、生物法和等离子体法四种。其中等离子体法是近年来新兴的一种技术，对处理土壤污染有着降解率高，适用范围广且几乎不产生废水、废气和废渣无需添加任何物质等诸多优点，但其不永久性、不稳定性及复杂多样性所造成问题仍需进一步探究解决。

关键词

土壤污染，修复技术，等离子体

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

土壤是地球上多种生命繁衍、生息的场所，它不仅仅是一种资源，还是人类生存环境的重要组成部分。土壤对外来环境污染物具有一定的缓冲性、同化和净化功能等客观属性。这些性能在稳定和保护人类生存环境中起到不可忽视的重要作用[1]。由于人类社会的高速发展导致产生了许多土壤污染问题，目前土壤污染的类型多样，呈现出新旧污染物并存、有机无机复合存在的污染局面。而且土壤污染的途径多，原因较复杂，控制难度大；由于土壤环境监督管理体系不健全，针对土壤污染的投入不足，社会防范意识不强等诸多因素，导致了农产品质量与安全问题，现已成为影响群众身体健康和社会稳定的主要因素。土壤污染对整个土壤生态系统造成最直接的破坏，土壤污染直接影响到农作物的产量，使国家蒙受巨大的经济损失，并且由于土壤污染而导致食物品质的下降，很多食物中的重金属含量明显超标，人类食用后会危害人体健康。土壤污染也会导致环境问题的产生，土壤污染后含高浓度的重金属的表层土会被风或水冲走或吹走，从而影响大气或水体，由点源污染扩大到面源污染最后影响整个生态系统。总而言之土壤污染已经严重影响人类社会的可持续发展。但常规的土壤修复方法难以有效解决，因此迫切地需要发展高效快速地污染土壤修复手段。

本文综述了具有高效快速修复效果的等离子体修复技术在土壤污染治理中的应用，通过对该技术的起源、发展、应用范围、优点及不足等方面的概述，为今后等离子体修复技术的发展及应用提供数据支持与理论依据。

2. 土壤污染治理现状

土壤是人类赖以生存的物质基础，也是环境的重要因素之一，与人类的生活息息相关。由于人口增长、工业迅速发展，固体废物不断向土壤表面堆放和倾倒，有害废水不断向土壤中渗透，大气中的有害气体及飘尘也不断随雨水降落在土壤中，导致了土壤污染。土壤污染与大气污染河水污染不同，大气污染和水污染比较直观能够通过感官发现或感觉到，由于土壤是一个气、液、固三项混合存在的一个系统。土壤污染是一个长期作用的结果，需要一定的时间才能显现出来。也是因为这个原因土壤污染不被人们

重视,导致发现的晚治理起来较困难。目前主要的治理方法有物理法[2] [3]、化学法[4] [5]、生物法[6] [7]和等离子体法四种方法对污染的土壤进行治理。

2.1. 传统修复技术

物理法:通过热处理技术将污染土壤的温度提高到一定程度使其中的污染物挥发或者解析出来的方法,比较适合易挥发或者半挥发性的有机物、农药、高沸点氯代物等污染土壤的修复[8]。该技术的优点是只需要少量的化学试剂,消耗能量低,能够进行较为彻底的修复,不足之处在于该技术在大规模土壤修复方面还不够完善[9]。

化学法:通过加入淋洗试剂使其中的污染物溶解、脱附、螯合于淋洗剂从而使污染物从土壤中分离出来的方法,可作为淋洗剂的通常有水、酸碱液、络合试剂和表面活性剂等[10]。利用化学处理技术,通过化学修复剂与污染物发生氧化、还原反应,使污染物从土壤中分离、降解、转化或稳定成低毒、无毒、无害等形式或形成沉淀除去。化学修复剂与污染物的相互作用能有效降低土壤中污染物的迁移性和被植物吸收的可能性,避免其进入生态循环系统。该技术的优点在于效率高,不足之处是需要对淋洗剂进行处理,其容易引入二次污染。

生物法:是指运用微生物或植物的生命代谢活动,将土壤环境中的危害性污染物降解成二氧化碳和水或其他无公害物质的工程技术。生物修复污染土壤主要是利用植物和微生物对有毒有害物质的吸收和降解作用。植物修复技术是在污染土壤中栽种植物,利用植物自身吸收或其根部微生物降解土壤中的污染物,从而达到修复污染土壤的效果[11]其中起着重要作用的是植物根系吸附过滤功能、转化挥发功能[2]代谢降解功能[12]防止扩散、稳定功能、超积累或累积功能。该技术优点是成本低廉,不足之处是微生物或植物对环境的要求比较苛刻,且周期较长,对待特定的污染物需要特定的微生物或植物,因此技术不适合那些急需修复的污染土壤。

2.2. 等离子体修复技术

等离子体法:脉冲放电等离子体是一种高级氧化技术,自发现以来就被用于大气污染的治理,随着研究的不断深入,其也被应用与水体污染的治理,近年来这项技术又被应用于土壤污染的治理中来。现已有诸多研究证明脉冲放电等离子体技术可以成功地用于气相和液相有机污染物的氧化分解,其作用过程产生的氧化活性粒子($\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{O}$ 、 H_2O_2 和 O_3 等)可以有效氧化降解有机污染物[13] [14] [15],这为该项技术用于土壤污染治理提供了可行性依据。该技术的优点是具有高降解率,适用范围广且几乎不产生废水、废气和废渣无需添加任何物质等优点,不足之处是成本较高。

3. 等离子体的研究现状

3.1. 等离子体起源

等离子体这一概念早在19世纪30年就由Langmuir [16]在文献中提出了,它是指气体在一定强度范围的电磁场作用下电离为离子、自由电子、中性粒子等等,由于物质电离后形成电子的总电荷量等同于正离子的总电荷量,宏观上的电中性使之被称为等离子体。Irving Langmuir因发现带电粒子在电力气体中存在着特定的周期震荡,将之称为生命的脉动而取Plasma [17]。等离子体定义[18]:“等离子体是由大量中性粒子和正负带电粒子组成的,并表现出具有集体行为的准中性气体。”等离子体因为含有相当数量的电子和离子,表现出相应的电磁学性能,如等离子体中带电粒子的热运动和扩散,及电场作用下的迁移。等离子体有别于固、液、气三种物质状态,称为物质的第四态[16]。等离子体与普通气体不同点在于:普通的气体由分子构成,各分子之间作用力较小,只有相互碰撞时作用力才会增强,且气体分子

的运动可用分子运动论描述。而在等离子体中，粒子之间的相互作用力超出了局部碰撞产生的作用。离子体的应用取决于等离子体本身的性质及其所处的状态。等离子体的性质主要受以下因素影响：粒子的状态、密度和温度，以及等离子体的组分。不同种类的等离子体由于自身特点不同，应用领域也有所差别。等离子体按照温度可分为高温等离子体、热平衡等离子体和低温等离子体；按所处状态可分为平衡等离子体和非平衡等离子体；按产生方法又可以分为自然等离子体和实验室等离子体；按不同形态又可将等离子体分为完全电离气体、部分电离气体、弱电离气体[19]。等离子体被广泛应用于各种不同的领域从我们的日常生活到工业、农业、环保、军事、宇航、能源、天体等方面，且等离子体治理土壤不会产生废水、废气、废渣等对环境有害的物质。

3.2. 等离子体修复技术应用

等离子体修复技术在废气处理方面已达到了工业应用的阶段，在水处理方面的研究较多，但工程应用案例较少。在土壤修复方面的研究还未十分全面，同时缺乏修复过程中污染物的降解机理研究。等离子体修复技术在石油、农药、多环芳烃、多氯联苯等多种有机污染土壤。2010年 Redolfi 等[20]运用等离子体反应器对柴油污染土壤进行修复处理，监测处理后出气口的二氧化碳含量，分析处理后的可生物降解性，得出可将该技术与生物修复技术相结合。Ognier 等[21]采用等离子体反应器对多环芳烃污染土壤进行修复，对比了臭氧法修复的效果，揭示了空气流速和放电电压对处理效果的影响，最佳处理率可达 95%，同时对放电过程中的热传导进行建模和数学运算。也有相关研究[22]等离子体对五氯苯酚污染土壤修复效应，揭示了不同因素对处理效果的影响并对降解产物进行分析，探究其降解机理。在农药污染土壤处理方面，陈海红等[23]采用等离子体对重度滴滴涕污染土壤进行修复处理实验，确定了最佳条件即在放电功率 1 kW、处理时间 20 min、空气放电气氛、土壤粒径 0~0.9 mm 以及土壤含水量 4.5%~10.5%条件下去除率可达 99.9%。

3.3. 仍存在的不足

虽然等离子体有着诸多的优点，但是以目前的技术水平还存在着一些问题。

- 1) 等离子体不能永久的存在：一旦没有了外部条件如电或高温，等离子体将消失。
- 2) 等离子体的不稳定性：如磁能引起的电流不稳定性；等离子体在向弱磁场区膨胀时会引起交换的不稳定性；温度、梯度及密度产生的等离子体膨胀能引起漂移的不稳定性。
- 3) 目前的测试仪器探测能力不足：等离子体产生的粒子是复杂的且多样性，而能量也在其中不断的更新、衰落、过渡态的物质更是千差万别要在现有的条件下捕捉到中间产物更不是易事。

4. 展望

土壤作为地球上所有动植物的生存场所，土壤中的很多成分会影响到土壤质量，从而影响到土壤本身进一步影响动植物的生长生活。等离子体是近年来新兴的一种技术，对处理土壤污染有着高降解率，适用范围广且几乎不产生废水、废气和废渣无需添加任何物质等诸多优点，但其非永久性、不稳定性及复杂多样性所造成问题仍需进一步探究解决。

参考文献

- [1] 黄昌勇, 徐建明. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [2] 骆永明. 金属物让土壤的植物修复[J]. 土壤, 1999, 31(5): 261-265.
- [3] Gan, S., Lau, E.V. and Ng, H.K. (2009) Remediation of Soils Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). *Journal of Hazardous Materials*, **172**, 532-549. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.118>

- [4] Yap, C.L., Gan, S. and Ng, H.K. (2011) Fenton Based Remediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons-Contaminated Soils. *Chemosphere*, **83**, 1414-1430. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.01.026>
- [5] O'mahony, M.M., Dobson, A.D., Barnes, J.D., *et al.* (2006) The Use of Ozone in the Remediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Contaminated Soil. *Chemosphere*, **63**, 307-314. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.07.018>
- [6] 胥九兵, 迟建国, 邱维忠, 等. 石油降解菌剂的研制及其在石油污染土壤修复中的应用[J]. 生物加工过程, 2009, 7(6): 21-24.
- [7] Rezek, J., Mackova, M., Zadrazil, F., *et al.* (2008) The Effect of Ryegrass on Decrease of PAH Content in Long-Term Contaminated Soil. *Chemosphere*, **70**, 1603-1608. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.08.003>
- [8] 赵金艳, 李莹, 李珊珊, 等. 我国污染土壤修复研究现状与展望[J]. 中国环保产业, 2013(3): 53-57.
- [9] 郭忠军. 污染土壤修复技术研究[J]. 化工管理, 2002(5): 46-47.
- [10] 郑燕如. 污染土壤修复技术研究[J]. 中国新技术新产品, 2014(7): 177-178.
- [11] 程文艳. 脉冲放电等离子体对有机污染土壤的修复研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 东华大学, 2017.
- [12] Newman, L.A. and Reynolds, C.M. (2004) Phytodegradation of Organic Compounds. *Current Opinion in Biotechnology*, **15**, 225-230. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2004.04.006>
- [13] Yankelevich, Y., Wolf, M., Baksht, R., *et al.* (2007) NO_x Diesel Exhaust Treatment Using a Pulsed Corona Discharge: The Pulse Repetition Rate Effect. *Plasma Sources Science and Technology*, **16**, 386-390. <https://doi.org/10.1088/0963-0252/16/2/023>
- [14] Dobrin, D., Bradu, C., Magureanu, M., *et al.* (2013) Degradation of Diclofenac in Water Using a Pulsed Corona Discharge. *Chemical Engineering Journal*, **234**, 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.08.114>
- [15] 屈广周, 赵良琪, 梁东丽, 等. 脉冲电晕放电等离子体-活性炭协同去除废水中重金属离子和有机物[J]. 高压电技术, 2014, 40(1): 201-205.
- [16] Langmuir, I. (1928) Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America. *Oscillations in Ionized Gases*, **14**, 627-637. <https://doi.org/10.1073/pnas.14.8.627>
- [17] Chae, J.Q. (2003) Non-Thermal Plasma for Diesel Exhaust Treatment. *Journal of Electrostatics*, **57**, 251-262. [https://doi.org/10.1016/S0304-3886\(02\)00165-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3886(02)00165-1)
- [18] 于开录, 刘昌俊, 夏清, 等. 低温等离子体降解烯啶虫胺农药废水的研究[J]. 高压电技术, 2011, 27(3): 2517-2522.
- [19] 金佑民, 樊友三. 低温等离子体物理基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 1983.
- [20] Redolfi, M., Makhloufi, C., Ognier, S., *et al.* (2010) Oxidation of Kerosene Components in a Soil Matrix by a Dielectric Barrier Discharge Reactor. *Process Safety & Environmental Protection*, **88**, 207-212. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2010.01.005>
- [21] Ognier, S., Rojo, J., Liu, Y., *et al.* (2014) Mechanisms of Pyrene Degradation during Soil Treatment in a Dielectric Barrier Discharge Reactor. *Plasma Processes and Polymers*, **11**, 734-744. <https://doi.org/10.1002/ppap.201300077>
- [22] Wang, T.C., Lu, N., Li, J., *et al.* (2010) Degradation of Pentachlorophenol in Soil by Pulsed Corona Discharge Plasma. *Journal of Hazardous Materials*, **180**, 436-441. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.049>
- [23] 陈海红, 骆永明, 滕应, 等. 重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究[J]. 环境科学, 2013(1): 304-309.