Global Science Publishing

热脱附技术在农药类污染场地修复中的应用

罗雁
苏交科集团股份有限公司，江苏南京

摘要：热脱附技术在修复农药类污染场地中具有良好的应用效果，能够通过直接或间接加热，将热量传递给污染土壤，加热目标污染物使其变为气相进而实现脱附，抽提回收，具有经济性、环保性特点。本文分析了农药污染场地特点、热脱附技术在农药污染场地的应用及优势，介绍了农药类场地修复实例。

关键词：热脱附技术；修复；农药类；污染；土壤

Application of Thermal Desorption Technology in the Remediation of Pesticide Contaminated Sites

Yan Luo
Sujiaoke Group Co., Ltd，Nanjing, Jiangsu

Abstract: Thermal desorption technology has good application effects in the remediation of pesticide contaminated sites. It can transfer heat to contaminated soil through direct or indirect heating, heat the target pollutants into the gas phase, and achieve desorption, extraction and recovery. It has the characteristics of economy and environmental protection. This article analyzes the characteristics of pesticide contaminated sites, the application and advantages of thermal desorption technology in pesticide contaminated sites, and introduces examples of pesticide site remediation.

Keywords: Thermal Desorption Technology; Repair; Pesticides; Pollution; Soil

1 引言

我国是农药生产和使用大国，农药生产量从2006年起跃居世界第一位，农药使用量多年来一直位居世界第一。农药产品种类有机氯类、有机磷类和菊酯类等多代农药[1]。近年来，国家推动“出城入园”，根据行业规划，“十三五”末应有80%以上的农药原药企业进入园区措施拖进，出现了大批农药生产企业因关闭或搬迁导致的农药污染场地[2]。如何安全有效处理农药污染场地，支持农药污染场地用地功能转换及二次开发利用，已成为亟待解决的问题。24年6月，《农药工业水污染物排放标准》发布，农药行业水污染物排放管控要求，将在限制淘汰高污染及落后生产工艺、促进低污染及先进生产工艺及促使企业采用先进的污染治理措施方面发挥重要作用。

土壤热脱附技术由于可处理多种污染物、处理时间短、处理效率高、安全可靠、可回收污染物，且处理后残渣具有资源化利用价值，尤其对高浓度挥发性或半挥发性有机物污染土壤修复的应用效果好[1]。

2 农药类污染场地修复难点

2.1 污染物复杂多样，存在非水相液体

农药污染场地污染物组成复杂多样，包括苯系物、石油烃、卤代烃、氯代烃、含氯农药、含硫农药和各种有机溶剂等，且部分场地为多种污染物并存的复合型污染或存在非水相液体(NAPL) 等。这些污染物质难以在短时间内降解，其中有机氯农药具有致癌、致畸和致突变效应，对人类健康以及生

态环境构成潜在危害[2]。

2.2 跨介质污染普遍，污染情况复杂

农药污染场地中的污染物由于自身性质的不同，呈现出不同的水平和垂直分布特征。

（1）迁移性较弱的污染物（如多环芳烃等）常分布在土壤表层，呈点状或块状分布；

（2）迁移性强的污染物（如苯系物、氯代烃等）跨介质污染普遍，往往在土壤和地下水中同时存在。

2.3 二次污染防控难度大

农药类污染场地，污染介质中常含有超高浓度或者嗅阈值较低的有机污染物，清挖扰动过程，易导致有机污染物无组织逸散，直接影响现场及周边环境。

目前大型污染场地主要以异位修复技术为主，开挖、运输、暂存和预处理等过程均会导致二次污染产生，场地覆膜或膜结构车间隔离难以抑制污染物的挥发。

3 燃气热脱附土壤修复技术（GTR）

3.1 技术原理

热脱附技术是通过加热土壤和地下水进行有机污染物的处理，可分为原位热脱附和异位热脱附两种。采用热传导加热（TCH）方式，将热量传递给土壤和地下水，借助温度梯度驱动，结合地面配套建设的抽提系统，尾气处理系统，废水处理系统，通过蒸汽抽提，挥发和热解等作用，促使土壤及地下水中的污染物流动和减少，实现污染土壤及地下水的修复治理。

燃气热脱附土壤修复技术（GTR）能够治理几乎所有类型的有机污染物，例如烃类、多环芳烃、多氯联苯、氯代有机物、二噁英、农药等。该技术以天然气或燃油为燃料提供热源，通过热传导加热目标治理区域和动力控制，形成负压抽提地下蒸汽。目标治理区域可以分区独立控制，使温度梯度和能源的消耗量最优化。通过模块化复制，可以无限扩展，对项目规模和场地具有很强的适应性[3]。

3.2 可利用的能源种类

GTR 可选用能源种类多样，如管道天然气、液化天然气、液化石油气、煤制气、柴油，便于现场因地制宜。

3.3 燃气安全

GTR 燃气安全性能高。一般工业燃气用户要求最高，不超过 800 KPa；商业及中压工业用户，不超过 400 KPa；普通居民用户，不超过 200 Kpa。而 GRT 技术，进入总管燃气压力小于 34 Kpa，平均每个燃烧器小于 2 KPa。

3.4 多层多相抽提，水平真空抽提的尾气控制系统

多层多相抽提（MPE）和水平真空抽提技术在处理土壤和地下水污染时，尾气控制系统是确保环境安全和避免二次污染的重要部分。多层多相抽提技术通过真空提取手段，同时抽取地下污染区域的土壤气体、地下水和非水相液体（NAPL）到地面进行相分离及处理。

3.5 污染扩散的防止方法

地面有保温层和水平抽提井来保证将尾气完全抽出，防止污染向上迁移。地面有负压监测井，保证地面处于微负压状态。加热井比目标深度深 0.5 到 1.5 米，防止污染物在底部冷凝造成向下迁移。

3.6 尾气处理

抽出气体（包括气相、水相、液相），依次经过一级冷凝油水气回收装置、二级热氧化装置、三级活性炭吸附后，达标排放。

4 GTR 在农药类污染场地修复的解决方案

4.1 技术适配性分析

GTR在农药类污染场地修复的解决方案需要参考GTR技术适配性分析表，如表1所示。

表1. GTR技术适配性分析表

编号	考量因素	项目特征/要求	技术适配性分析	是否适配
1	污染因子	氯代烃类、含氯农药、含硫农药等	地下加热温度在 100~400℃内可调，农药类污染土壤及地下水加热温度一般不超过300℃，可以通过井场设计和科学管理调控地下加热温度，满足修复治理要求	是
2	污染程度	土壤及地下水收到农药类有机物污染，且深度和面积均较	在国内，已有多个农药类污染场地修复项目成功案例，技术和经验适配性均较好	是

		大，污染程度重		
3	场地条件	周围环境敏感点多，且场地内作业空间受限	不涉及大规模动土作业，设备区占地面积紧凑，节约临时用地面积；可以在已有建构筑物内执行原位修复	是
4	治理效果	污染因子复杂，污染物可能分解不完全，土壤、地下水难以稳定达标	在加热与抽提双重作用下，驱使目标污染物与土壤，地下水的脱附和去除，源消减效果显著，保障修复范围内的土壤与地下水稳定达标	是
5	二次污染管控	农药类有机污染物的异味突出，异位扰动及尾气处理过程，二次污染风险高	不涉及大面积动土扰动，作业强度可控；配有科学合理的抽提，尾气处理及环境管理措施体系，确保现场二次污染管控得当	是
6	工期响应	施工工期需要满足地块后续建设要求	系统设备建安周期一般 1~2 个月，运维周期一般 3~6 个月。可以根据项目实际情况，调整设备投入规模，响应工期要求	是
7	费用	涉及土壤及地下水中有机污染物的治理修复，且深度和面积均较大	根据农药类污染场地特点，原位热脱附技术能较好的实现治理目标，降低返工风险，并在二次污染问题管控方面有较好表现	是

4.2 技术广谱、高效

GTR 技术广谱、高效的优点很好的解决了农药污染场地污染物组成复杂多样和存在非水相液体(NAPL) 等难点，其中 GTR 技术在污染场地修复中的处理流程如图 1 所示。

4.3 土壤和地下水同时治理

GTR 技术可对土壤和地下水同时治理，很好的解决了农药污染场地跨介质污染、污染情况复杂等难点。

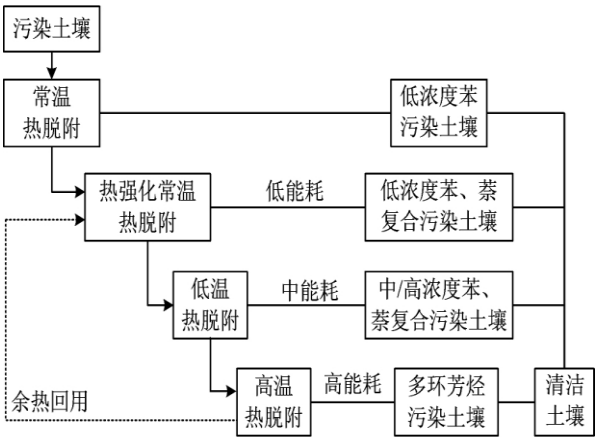


图 1. GTR 技术在污染场地修复中的处理流程

4.4 三级尾气处理优势

GTR 技术配备先进的三级尾气处理设施，能很好解决农药污染场地二次污染防控难度大的问题。

适配性好：感官难以接受的低嗅阈值有机污染物效果也较好。

冷凝和气液分离：使用冷凝和气液分离为一级设备，在不同地块配套使用氧化炉或蓄热式氧化炉作为二级处理设备。

活性炭：在系统尾端使用活性炭作为三级设备[4]。

5 案例分析

5.1项目概况

华北某农药厂修复项目是热脱附技术在农药类污染场地修复中的应用典型案例体现，具体概况如表 2 所示。

表2. 华北某农药厂修复项目概况

场地原用途	含硫农药厂
目标污染物涉及	硫磷类农药，苯系物，石油烃
修复周期	2020 年 6 月至 2021 年 1 月
修复面积	11126 m²
加热深度	13 m
地质条件	粉土、粉质黏土、粉砂
加热井数量	865
加热温度	100˚C
加热时间	116 天
修复效果	硫磷类农药去除率>99%，完全达标

5.2 以案例1为例验证GTR治理效果

(1) 实验室加热测试

对工程地块土壤样本进行实验室加热测试，结

果发现当温度接近 100 摄氏度时，土壤中有机硫代磷酸盐污染物可以实现高达 99%的去除率。最终 100 摄氏度被采纳为热脱附目标温度。

(2) 尾气浓度

这样的设计极大地降低了能耗，同时也避免了更多更密集的加热井排布。另一方面，100 摄氏度时产生的尾气浓度峰值较低，无需担心处理设备过载所导致的排放超标问题[5]。

6 结论

燃气热脱附土壤修复技术是一种土壤修复速度快、污染因子去除率高的土壤有机物处理方式，在农药类污染场地修复中取得较好的应用效果。在 GRT 实际运用中，加热深度、现场地质条件、加热井数量、加热时间、加热温度等都会对热脱附处理效率产生影响，因此实际应用中，需充分考虑当地情况，结合实验分析数据得到最佳反应参数。

参考文献

[1] 李倩, 杨璐, 姜越, 等. 农药生产场地污染土壤的化学氧化修复技术研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(1): 11.

[2] 倪冲, 周虹. 异位热脱附技术在农药污染土壤的应用研究[J]. 广东化工, 2022(011):049.

[3] 贾秀雯, 王盼盼, 张娟, 等.热脱附对有机氯农药污染土壤微生物响应效应[J]. 环境科学与技术, 2022(008):045.

[4] 潘月， 蔡安娟， 王水.浅谈农药污染场地修复技术及其二次污染防治措施[J]. 污染防治技术, 2022, 35(5): 5-9.

[5] 刘新培. 热脱附技术在有机磷农药污染土壤修复过程中的应用研究[J].天津化工, 2017, 31(1):4.

Copyright © 2025 by author(s) and Global Science Publishing 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