



推荐阅读:

[广西城市污水处理厂污泥产生及处置现状分析](#)

[平顶山市煤矿区土壤重金属污染程度评价](#)

[基于灰色关联分析法的宜昌市空气质量影响因素分析](#)

[废旧锂离子电池流向及管理现状调研](#)

[生物法处理气态污染物的研究现状与应用前景](#)

[环境敏感区农村生活污水处理工艺设计案例分析](#)

[氨法脱硫+低温 SCR 脱硝工艺在焦炉烟气净化中的应用](#)

[反渗透双膜工艺处理印染废水研究进展](#)

[重金属污染土壤修复技术研究进展](#)

[基于 SARIMA 模型的二氧化氮时间序列预测研究](#)

[碳基功能材料在土壤修复中的应用](#)

[虾蟹壳对水中刚果红吸附性能的研究](#)

[农村生活垃圾生物质热解和燃烧气相数值模拟](#)

[基于灰色 GM\(1, 1\)模型的成都市大气污染物浓度预测](#)

[江苏省非道路移动源大气污染排放清单研究](#)

[欧盟 15 国污水污泥产生量与处理处置方法对比](#)

[基于 Hydrus-1D 的粉煤灰堆场 Cr\(VI\) 在包气带中迁移规律的研究](#)

[工业废水活性炭深度处理的研究](#)



移动扫码阅读

刘海飞,孟祥帅,赵伟.不同采样温度下原位燃气热脱附土壤修复效果实例分析[J].能源环境保护,2020,34(4):51-54.

LIU Haifei, MENG Xiangshuai, ZHAO Wei. Case study of soil remediation by in-situ gas thermal desorption at different sampling temperatures[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(4): 51-54.

## 不同采样温度下原位燃气热脱附土壤修复效果实例分析

刘海飞<sup>1</sup>, 孟祥帅<sup>1</sup>, 赵伟<sup>2</sup>

(1.北京京诚嘉宇环境科技有限公司,北京 100053;2.神华地质勘查有限责任公司,北京 102209)

**摘要:**以退役焦化厂地块苯并(a)芘为修复目标污染物,通过原位燃气热脱附技术修复污染土壤。在100℃和25℃两种温度条件下,对修复后的土壤分别进行采样分析。结果表明,不同采样温度条件下的苯并(a)芘含量达标率均为100%。对于目标污染物为苯并(a)芘的污染场地,建议在常温条件下下采样验收。在保证密封性并对土样进行有效降温的前提下,也可在100℃条件下采样。

**关键词:**燃气热脱附;原位修复;有机污染场地;修复效果;采样温度

中图分类号:X53

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2020)04-0051-04

### Case study of soil remediation by in-situ gas thermal desorption at different sampling temperatures

LIU Haifei<sup>1</sup>, MENG Xiangshuai<sup>1</sup>, ZHAO Wei<sup>2</sup>

(1. CERI Eco Technology Co., Ltd., Beijing 100053, China; 2. Shenhua Geological Exploration Co., Ltd., Beijing 102209, China)

**Abstract:** The in-situ gas thermal desorption technology was used to repair the contaminated soil in a retired coking plant, taking benzo (a) pyrene as the target pollutant. The remediated soil samples were collected and analyzed at 100 °C and 25 °C. The results showed that the standard-reaching rates of benzo (a) pyrene content were 100% at different sampling temperatures. It was recommended to collect samples for acceptance at normal temperature. However, sampling temperature could also be 100 °C if the soil samples were well sealed and effectively cooled.

**Key Words:** Gas thermal desorption; In-situ remediation; Organic contaminated site; Remediation efficiency; Sampling temperatures

## 0 引言

由于生产历史长,受工艺技术条件及污染管理水平所限,搬迁或关停的焦化场地环境污染较严重<sup>[1]</sup>,开发建设前对其遗留场地进行土壤修复已是必然要求<sup>[2]</sup>。

原位热脱附技术作为修复土壤和地下水中有有机污染的一项重要技术,在修复低渗透性、污染深

度较深且有机物污染严重的土壤中具有很大的优势和应用前景<sup>[3-4]</sup>。按照不同的加热方式,原位热脱附技术大致可分为电阻热脱附、热传导热脱附和蒸汽热脱附等<sup>[5]</sup>。其中,原位燃气热脱附技术作为一种新兴的热传导热脱附技术,主要是通过石油或天然气的燃烧供热,以热传导的方式加热目标区域使污染物挥发,同时通过动力系统进行蒸汽抽提,将污染物提取到地面进行无害化处置。

收稿日期:2020-07-09

第一作者简介:刘海飞(1983-),女,山东聊城人,硕士研究生,工程师,主要从事土壤及地下水修复。E-mail:liuhaifei@ceri.com.cn

原位燃气热脱附技术目前在国内尚处于发展阶段,对于此类技术在实际场地条件下的污染物修复效果等的报道较少。此外,场地修复完成后,深层土壤往往具有较高的温度且短时间内难以降至常温<sup>[6]</sup>,而土壤修复工程多考虑工期的时间要求,待场地降至常温进行采样往往不具备现实条件。因此,在合理的温度条件下如何实现样品的采集且保证满足质量控制等要求,是决定此类工程修复效果评估结果准确性的关键。

本文利用某焦化场地苯并(a)芘作为研究对象,分析不同温度条件下,修复完成后的土壤样品中污染物含量、变化以及成因,探讨不同温度条件下土壤采样的可行性及有效性,以期为污染场地修复效果评估工作提供参考。

## 1 修复工程概况

### 1.1 污染区域概况

研究场地为某退役的焦化厂地块,用地历史为原料煤的储存和加工场地,用地规划为绿地。场地调查与风险评估结果显示,苯并(a)芘超标且致癌风险超过可接受的致癌风险水平,最大污染浓度出现在地下4.5 m处,浓度为79 mg/kg,最大超标倍数为51.67倍。根据研究场地风险评估结果,需对污染土壤进行修复,苯并(a)芘修复目标值为6.2 mg/kg。

场地修复工程量情况见表1。

表1 研究场地土层特性及修复工程量

污染物名称	修复面积/m <sup>2</sup>	修复深度/m	修复土方量/m <sup>3</sup>	土层性质
苯并(a)芘	365.57	0~5	1 827.85	人工填土层,煤渣、灰渣碎石、粘性土等组成

### 1.2 工艺设计

研究表明,热脱附对于处理深度大、高沸点的污染物效果显著<sup>[7-9]</sup>,场地内目标污染物苯并(a)芘的沸点较高、污染深度较大,因此适宜采用原位燃气热脱附工艺进行修复。

本次工程内容主要包括加热系统、气相抽提系统和温度监测系统。综合考虑场地地层情况、场地污染特征及目标污染物的理化性质等,同时结合修复范围、修复深度和工期要求等,确定各系统工艺参数如下。

加热系统:(1)选用垂直加热井,加热井采用正三角形分布;(2)目标温度:350℃;(3)加热井间距为2.2 m,井深度为5.5 m;(4)加热井数量:90

根,编号为H1-H90。

气相抽提系统:(1)采用水平抽提管和垂直抽提井,布设在三角形加热井的中心冷点位置;(2)水平抽提管深度为0.5 m;(3)垂直抽提井深度为5.5 m,间距约3.7 m;(4)水平抽提管12根;(5)垂直抽提井30根,编号为E1-E30。

温度监测系统:(1)在三角形加热井中心冷点位置设置热电偶水平监测点;(2)每个水平监测点垂直方向上1.0 m、3.0 m和5.0 m各设置一个监测点;(3)水平测温点共布设6个,编号为T1-T6。

场地井位布置见图1。

## 2 材料与方法

### 2.1 采样布点

根据《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》(HJ 25.5—2018)<sup>[10]</sup>,修复范围内水平设置9个采样点,分别记为S01-S09,每个点位垂直方向上分别在0.5 m、2.5 m和5.0 m处取1个土样,共计27个土壤样品点,采样网格约为10 m×10 m,点位分布见图1。

### 2.2 采样时间节点及温度

研究场地持续加热修复时间为50 d,之后停止场地加热并进行样品采集。为了解不同采样温度对修复效果的影响,本次研究设置2个采样时间节点:①停止加热15 d后,对S1-S9监测点位进行热采样,对采集上来的土壤样品温度进行检测,平均温度为100℃左右,为热采样。②停止加热115 d后,选取1个内部点S05和1个边界点S07进行冷采样,对采集上来的土壤样品温度进行检测,平均温度为25℃左右,为冷采样。

### 2.3 样品采集与保存

土壤样品的采集,参照《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1—2019)和《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2—2019)规定执行。

采样前首先采用炮锤破除混凝土地面,土壤钻孔采用美国犀牛HPD液压取土钻机。钻机将套筒打到指定的深度,然后锤击标贯器到指定的采样深度,取出标贯器,用温枪测试标贯器内土壤的温度。热采样时增加降温过程,即用锡纸包裹标贯器,后用保鲜膜缠绕覆盖,将密封好的标贯器放在冷却箱内,用箱内放置蓝冰冷却至常温。然后将标贯器取出并纵向分开,用不锈钢勺采集其中的样品,迅速装入样品瓶,采集完后样品瓶放入

样品保存箱中,冷藏保存,并在 48 小时内运至分析实验室。

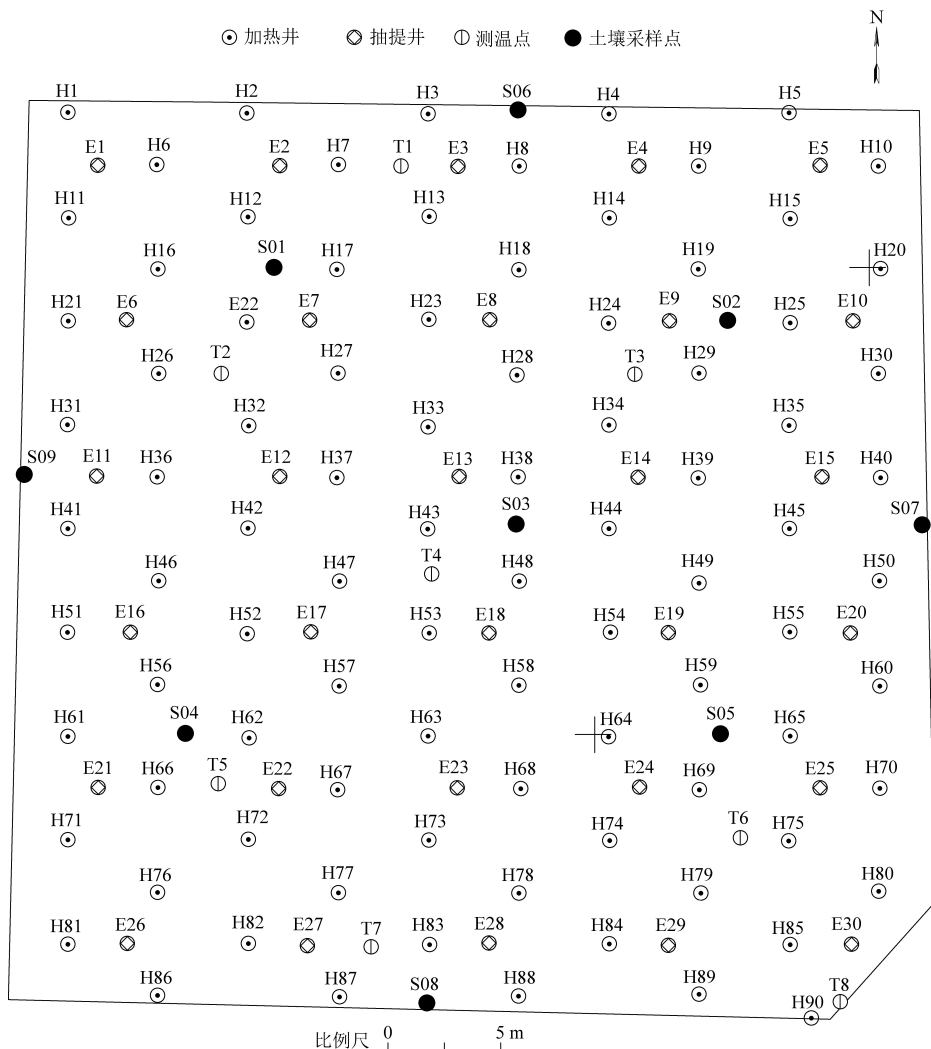


图 1 场地井位布置及土壤采样点平面图

### 3 结果与讨论

#### 3.1 土壤温度监测结果

利用燃气热脱附技术对研究地块进行了为期 50 d 的加热修复和 15 d 的自然冷却处理,土壤温度随时间变化见图 2(以 T4 监测点为例)。

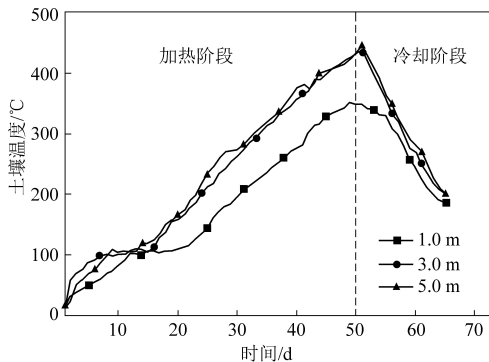


图 2 T4 监测点地块温度变化情况

从图 2 可以看出,采取原位燃气热脱附技术对研究地块进行加热处理,土壤升温速率达 6.3~8.0 °C/d,土壤降温速率 9.5~13.4 °C/d,由此可知,热处理后的土壤需要数周或数月才能降至常温。因此,若降至常温条件下再对修复后土壤样品进行采集以验证修复效果,对修复工程竣工时间将会产生较大的影响。

#### 3.2 修复效果分析

研究场地经过 50 d 的原位燃气热脱附修复后,分别进行了热采样和冷采样,以验证修复效果,监测结果显示,热采样时 S01-S09 各点监测值最大为 1.7 mg/kg,冷采样时 S05 和 S07 点位的苯并(a)芘的监测值均低于检出限。热采条件和冷采条件下,土壤样品中苯并(a)芘的监测值均低于修复目标值,达标率为 100%,研究场地经原位燃气热脱附修复完成后满足修复要求,修复效果显著。

### 3.3 冷采和热采修复效果对比分析

通过表 2 冷采样和热采样的修复效果对比分析可知,热采样阶段,S05 监测点位地下 0.5 m 处苯并(a)芘浓度为 1.4 mg/kg,而冷采样阶段苯并(a)芘均未检出,说明在自然冷却阶段,研究地块的土壤温度依然较高,苯并(a)芘在较高温度的分解作用下,污染物含量持续下降。除 S05 监测点位地下 0.5 m 处热采样和冷采样的监测结果存在差异外,其他监测结果均相同。

通过计算可知,100 ℃ 条件下热采样,土壤样品中苯并(a)芘的平均除率为 96.4%,25 ℃ 条件

下冷采样,土壤样品中苯并(a)芘的平均去除率为 99.5%。相比于热采结果,冷采条件下苯并(a)芘的去除率提高了 3.1%。由此可知,由于苯并(a)芘的沸点为 495 ℃,沸点较高、挥发性较弱,热采样时在保证密封的条件下,通过挥发等造成的样品损失量较小,因此,在保证密封性并对采集的土样进行有效降温的前提下,热采样同样具有可行性。综上分析可知,针对含苯并(a)芘的土壤采样,推荐在冷采样条件下进行,在保证密封性并对采集的土样有效降温的前提下,亦可选用热采样方式进行。

表 2 冷采和热采修复效果对比分析

取样点编号	采样方式	0.5 m		2.5 m		5.0 m	
		监测值 /(mg · kg <sup>-1</sup> )	去除率 /%	监测值 /(mg · kg <sup>-1</sup> )	去除率 /%	监测值 /(mg · kg <sup>-1</sup> )	去除率 /%
S05	热采	1.4	81.1	-	99.2	-	99.9
	冷采	-	99.3	-	99.2	-	99.9
S07	热采	-	99.3	-	99.2	-	99.9
	冷采	-	99.3	-	99.2	-	99.9
修复前	-	7.42	-	6.09	-	79	-

注:“—”表示未检出。

## 4 结论

(1)研究场地经原位燃气热脱附技术修复后,苯并(a)芘的达标率为 100%,能够实现目标污染物的有效去除,对污染场地的修复效果显著。

(2)25 ℃ 条件下冷采样,土壤样品中苯并(a)芘的去除率比 100 ℃ 条件下热采样的平均去除率高 3.1%。对于目标污染物为苯并(a)芘的污染场地,推荐在冷采样条件下进行验收,在保证密封性并对采集的土样有效降温的前提下,亦可选用热采样方式进行。

## 参考文献

[1] 孟祥帅, 吴萌萌, 陈鸿汉, 等. 某焦化场地非均质包气带中多环芳烃 (PAHs) 来源及垂向分布特征 [J]. 环境科学, 2020, 41 (1): 377-384.

[2] 原环境保护部办公厅. 关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知 [EB/OL]. (2012-11-27) [2016-11-26]. <http://trhj.mee.gov.cn/gtfwhjgl/zhgl/201604/W020160424386486756217.pdf>.

[3] MYERS K F, KARN R A, ENG D Y, et al. In situ thermal desorption of VOCs in vadose zone soils [J]. Field Analytical Chemistry & Technology, 2015, 2 (3): 163-171.

[4] KUNKEL A M, SEIBERT J J, ELLIOTT L J, et al. Remediation of elemental mercury using in situ thermal desorption (ISTD) [J]. Environmental Science & Technology, 2006, 40 (7): 2384-2389.

[5] Iben E T, Edelstein W A, Sheldon R B, et al. Thermal blanket for in-situ remediation of surficial contamination: A pilot test [J]. Environmental Science & Technology, 1996, 30 (11): 3144-3154.

[6] U. S. Army Corps of Engineers. Design: in situ thermal remediation [R]. Washington: Department of the Army, 2009.

[7] 王锦淮. 原位热脱附技术在某有机污染场地修复中试应用 [J]. 化学世界, 2018, 59 (3), 182-186.

[8] 刘惠. 污染土壤热脱附技术的应用与发展趋势 [J]. 环境与可持续发展, 2019, 44 (4): 144-148.

[9] 张学良, 廖朋辉, 李群, 等. 复杂有机物污染地块原位热脱附修复技术的研究 [J]. 土壤通报, 2018, 49 (4): 993-998.

[10] HJ 25.5-2018. 污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则 [S].