

## 成果与方法

## 曝气法对石油污染土壤的修复研讨

王贞国,梁伟,杨询昌,冯守涛,苏丽,赵修地

(鲁北地质工程勘察院,山东 德州 253015)

**摘要:**为了探讨石油污染土壤修复的有效方法,就曝气法对石油污染土壤的修复功能,在野外试验场地进行了为期 13 天的试验。结果表明,曝气法可使空气与土壤中呈吸附态和残余态的石油烃类相接触,从而使土壤中的石油烃类通过挥发和好氧生物降解去除,为石油污染土壤生物修复技术的应用提供了科学依据。

**关键词:**曝气试验;石油土壤污染;修复技术;山东

**中图分类号:**TE991.305

**文献标识码:**A

## 0 引言

随着石油工业的迅速发展,在采油、炼油、运输及应用过程中,很难避免石油及其废弃物对土壤的污染,石油污染土壤的清洁势在必行。20 世纪 90 年代以来,生物修复技术被认为是最有生命力的土壤清洁技术。在美国和欧洲污染土壤生物修复技术已在许多受毒有害有机物污染的土壤修复计划中得到应用。生物修复技术,因其费用低,不产生二次污染而被视为一项具有广阔发展前景的高新技术。但该技术用于石油烃污染的土壤时,因其降解速度缓慢,一直制约着该技术发展。我国土壤污染现状相当严重,国内利用生物降解石油烃的研究工作与国外相比,还有很大的距离。

该文通过野外曝气试验,研究曝气对土壤中石油烃污染物的降解作用,为石油污染土壤的生物修复技术的发展提供理论依据。

## 1 试验部分

### 1.1 曝气试验原理

曝气法其基本原理是在较高压力下把空气注入到地下水水面以下,使水从含水层介质排出,空气暂时充满其孔隙,注入的新鲜空气直接与介质中呈吸附态和残余态的石油烃类相接触,通过挥发和好氧生

物降解去除。去除有机污染物的机理主要是:挥发、吸附和解吸、好氧生物降解和增加污染物的溶解。

### 1.2 试验方法

试验基本运转程序是利用垂直井,采用空压机(型号:W-0.9/1.25,额定压力 1.25MPa,公称流量  $0.9\text{m}^3/\text{min}$ )连续式曝气法分别向曝气井注入一定压力空气,使土壤保持好氧状态,通过挥发、溶解、吸附、解吸及好氧生物降解等作用达到去除石油类污染物的目的。试验过程中对注入空气的压力进行监测,同时利用各个观测孔进行地下水位监测,并在试验前期、中期、后期分别在不同距离与不同深度内采取水土石油分析样,以对比分析试验效果(图 1)。

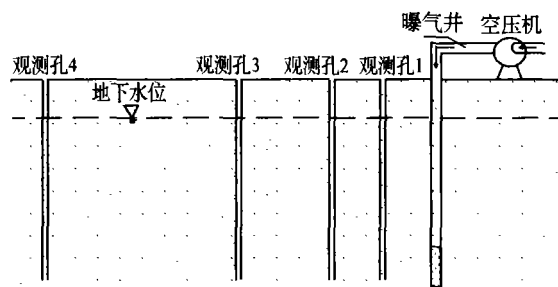


图 1 曝气试验系统装置示意图

在德州及滨州分别进行了 3 组曝气试验,这里以德州某地油井附近曝气试验为例。试验前通过调查取

收稿日期:2006-01-05;修订日期:2006-07-12;编辑:陶卫卫

作者简介:王贞国(1963-),男,山东陵县人,工程师,主要从事水工环地质工作。

样,该处地下水、土壤石油污染均较明显,地貌类型为黄河冲积平原缓平地,在 10m 深度范围内地层均为第四系黄河冲积物,岩性为粉土和粉质粘土。浅层地下水水位埋深 3.32 m。采用 3 眼不同深度的(10m,7.5m,5m)曝气井分别进行,自 2004 年 11 月 29 日开始,至 12 月 12 日结束,累计曝气时间 18505min,累计曝气量 16 655 m<sup>3</sup>,曝气压力平均值 0.58~0.62Mpa。

### 1.3 适用条件

岩性为粉土或粉质粘土的石油污染土壤较适宜采用曝气法进行治疗。若土壤颗粒较粗,造成曝气半径较小;若土壤颗粒较细,空气较难注入到土壤中。因此岩性为砂土和粘土的石油污染土壤不适宜采用曝气法进行治疗。同时,曝气法相对纯物理技术与化学技术方法,其治理深度较大,比较适合于污染时间较长、污染深度较大土壤的治理,如泥浆池、储油罐、加油站等附近的石油污染土壤。

### 1.4 参数确定

(1)曝气压力。将空气注入土壤需要一定的压力,压力大小对去除污染物的影响很大。曝气所需最小压力为水的静水压力与毛细压力之和,水的静水压力是由曝气点之上的地下水高度决定的,而土壤的存在则造成了一定的毛细压力。一般说,曝气压力越大,曝气半径越大,但曝气压力也不宜过大,以免在曝气点附近造成不必要的土壤迁移。

(2)曝气半径。曝气半径不仅与曝气压力有关,还与地层岩性及曝气井深度有关。当曝气井深度较浅,土壤颗粒较粗(如砂土),渗透性较好,注入空气容易从注气井周围直接逸出地表,影响半径较小;而当土壤颗粒很细(如粘土),渗透性很弱,空气很难注入土壤中,影响半径也很小。

(3)曝气深度。曝气深度不宜太小,如深度太小,其影响范围较小;深度也不宜太大,通过该次试验证明,在区内利用曝气法进行土壤石油污染治理时,深度宜控制在 10m 左右。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 试验结果

试验前后土壤中污染组分含量分析结果见表 1。由表 1 看出:同一观测孔不同深度、同一深度不同观测孔石油烃类含量均有明显降低,降低幅度一般在 75%以上,土壤中 Pb、As 含量有所升高,Hg

含量明显降低,Cd,Cr<sup>6+</sup>含量变化不大。

表 1 曝气试验前后土壤中污染组分平均含量变化情况

组分	0.5m		4.5m		9.0m	
	试验前	试验后	试验前	试验后	试验前	试验后
Pb (mg/kg)	15.48	23.17	24.82	32.65	13.92	21.15
Cd (mg/kg)	0.08	0.10	0.15	0.18	0.08	0.09
Cr <sup>6+</sup> (mg/kg)	0.108	<0.04	0.060	<0.04	0.052	<0.04
As (mg/kg)	8.7	12.8	17.0	23.1	10.1	10.5
Hg (ug/kg)	44.75	32.33	68.61	31.95	45.16	32.79
石油类 (mg/kg)	31.8	4.8	45.0	5.4	19.3	3.9

滨州试验场地属黄河冲积平原区,地形平坦,油井较多,石油污染较明显。地下水埋深 1~2m,处理深度为 9m。试验效果基本相同,只是数据略有差别。

### 2.2 讨论

具有研究表明微生物对石油烃的降解是好氧过程,提供足够的氧气能够促进微生物在土壤中的活性,使降解提高。该次试验就是人为的把空气源源不断的送入土壤,从而保证土壤中的氧气含量,土壤中石油烃含量的降低一方面是石油烃随空气挥发,另一方面是石油烃类就地在微生物的作用下降解<sup>[1]</sup>。

微生物的多少直接影响着石油烃类的降解速度。微生物的生长需适宜的 pH 值<sup>[2]</sup>,即当石油污染土壤中 pH 值保持稳定时,有利于微生物的生长繁殖。经过曝气处理后,为微生物的氧化烃类化合物提供了充足的电子受体 O<sub>2</sub>,微生物可将烃类物质完全氧化为 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O,从而避免了土壤中酸类物质的积累,使土壤中的 pH 值保持一个相对稳定的状态,进而增强了微生物的活性,促进了石油烃的降解。

## 3 结论

通过在德州及滨州的试验数据说明,曝气法在治理同类地区土壤中的石油污染行之有效,且操作简单。它与其他方法相比具有明显的优势:处理成本低,只为焚烧法的 1/2;处理效果好,其处理后,污染物残留量可达到很低水平;对环境的影响小,最终产物二氧化碳、水等对人体无害;可就地

(下转第 112 页)

$\log C = \log (\text{测定值}) - \log (\text{标准值})$ , 平均  $\log C$  为每 4 个标样测定值与标准值的平均对数差, 为每 4 个标样测定值与标准值的平均对数差的相对偏差。

通过实施 1 25 万多目标区域地球化学调查样品分析质量监控工作, 体会到质量监控的完全计算机化为质量管理工作节省了大量的人力、物力, 而且更加准确、快速, 更能适应大量数据处理的质量监控

的需要。

### 参考文献:

- [1] 孙焕振. 区域化探样品元素测定几个问题的探讨[J]. 物探与化探, 1985, 9(1): 1-7.
- [2] 中华人民共和国地质矿产部. DZ0130.1-0130.13-94. 地质矿产实验室测试质量管理规范[S]. 西安: 西安交通大学出版社, 1994, 55-66.

## Quality Monitoring Method for Analysing and Determing Multi - target Regional Geochemical Symbols with the Scale of 1 250000

GONG Bao - zhen

(Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** In quality monitoring method for analysing and determing multi - target regional geochemical symbols with the scale of 1 250000, accuracy and precision should be paid equal attention, and standard materials monitoring should be combined with repetition symbols. By using multi - target geochemical symbols managing software, automatic management to quality monitoring of analysing symbols can be realized. If relative analysing database is set up, analysing report, interanl symbol and standard symbol monitoring map can be gained automatically.

**Key words:** Analysis and determination; quality monitoring; regional geochemistry; symbol; computer; managing software

(上接第 108 页)

处理, 避免了运输过程的二次污染, 节省了费用。

根据国外有关曝气法治理污染土壤的实例, 为了提高曝气效率, 缩短曝气时间, 还采用脉冲曝气代替连续曝气, 或增设空气抽取井。由于此类试验国内尚无先例, 加之试验时间的关系, 试验效果有待进一步研究证明。

### 参考文献:

- [1] 丁克强. 石油污染土壤的生物修复技术[J]. 生态学, 2000, 19(2): 50-55.
- [2] 丁克强, 骆永明, 孙铁有, 等. 通气对石油污染土壤生物修复的影响[J]. 土壤, 2001, 4: 185-188.

## Soil Recovery by Using Air Sparging Method Polluted by Oil

WANG Zhen - guo, LIANG Wei, YANG Xun - chang, FENG Shou - tao, SU Li, ZHAO Xiu - di  
(Lubei Geo - engineering Exploration Institute, Shandong Dezhou 253015, China)

**Abstract:** In order to study soil recovery quality by using air sparging method, 13 days experiment is carried out in the field. Its is proved that adsorption type and residual type oil hydrocarbon in soil can contacted each other by using air sparging method, which can get rid of oil hydrocarbon through volatilization and aerobiont plants. It provides scientific basis for recovering plants polluted by oil.

**Key words:** Air sparging experiment; oil polluted soil; recovery technology; Shandong province