

附件：

**《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录  
(2023 年版)》供需对接指南之十八  
土壤污染修复  
技术装备典型案例**

## 目 录

案例一：.....	1
上海宝发环科技术有限公司土壤浆化强化修复装备.....	1
案例二：.....	6
中科鼎实环境工程有限公司原位热脱附装备.....	6
案例三：.....	12
武汉瑞景环境修复工程有限公司多相抽提原位化学氧化撬装成套装备.....	12

## 案例一：

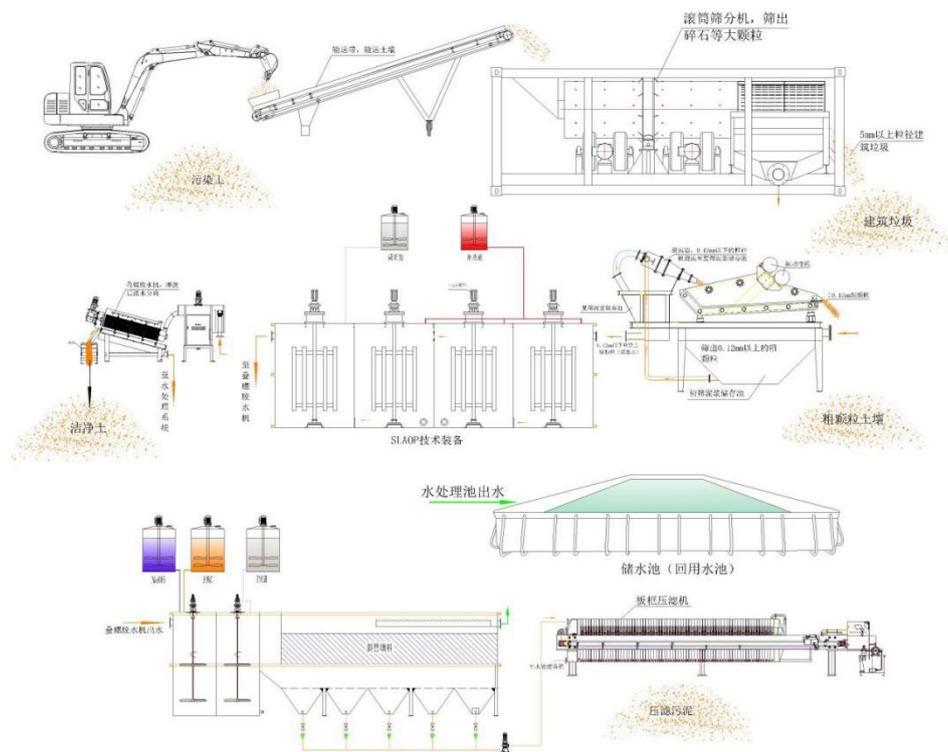
### 上海宝发环科技术有限公司土壤浆化强化修复装备

#### 一、技术适用范围

适用于重金属土壤修复。

#### 二、技术原理及工艺

将粘性较大的污染土壤通过造浆装置进行破碎筛分，与造浆水混合后达到污染土壤的松散、分离、造浆的目的，污染土壤造浆液化后进入化学氧化、淋洗、脱水等后续工序。造浆后的液化均质土壤更有利于药剂的均匀分布，药剂接触到全部处污染区域，利用氧化剂的氧化作用对有机污染物进行去除、利用淋洗液将重金属溶解去除，最终达到处理有机物与重金属污染的双重目标。



工艺流程图

### 三、技术指标

适用条件：破碎过的土壤 95%的粒径需小于 1~2 cm；  
 土壤含水率 15%~30 %；药剂混合：土壤 pH5~9；养护阶段：土壤含水率 15~30%。

工作参数：停留时间 $\geq 60\text{min}$ ；工作时间 24h；土壤颗粒粒径 $\leq 50\text{mm}$ 。

能耗指标：装机功率 110 kW。

效率指标：有害物质去除率 $>95\%$ ；修复效率  $80\text{m}^3/\text{d} \sim 100\text{m}^3/\text{d}$ 。

可靠性指标：故障率 $<3\%$ ；维护周期 $>6$  个月；寿命 $>10$

年。

#### 四、技术特点及先进性

该技术装备将土壤造浆、淋洗与化学氧化有机结合，通过造浆处理增强土壤的均一性与渗透性，使注入的氧化药剂与污染土壤充分接触。污染修复效果更佳，修复时间更短，药剂和水使用量更少。经实际运行测算，使用 SLAOP 装备相较于常规的“氧化+淋洗”设备，将提升 10%的处理效率、节约氧化药剂用量 25%、节约用水量 50%以上。可广泛应用于重金属和有机物复合污染物的土壤修复项目。

#### 五、应用案例

项目名称：宝山新城杨行 BSPO-0801 单元江杨北路以东 06-06 地块场地污染土壤与地下水修复项目

项目概况：该地块土壤以《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）的第一类用地筛选值为评价依据，超标污染物为苯并(a)芘、镉、铅和砷，其中苯并(a)芘超标倍数范围为 0.14-8.15；铅超标倍数为 2.35；砷超标倍数范围为 0.39-5.7。土壤苯并(a)芘、镉、铅和砷含量较高的原因可能与场地历史上的金属冶炼活动有关。

经过开挖、筛分、SLAOP 处理、脱水等工艺后，场地土壤检测结果均满足修复方案提出的修复目标（苯并(a)芘 0.55mg/kg；铅 400mg/kg；砷 20mg/kg；镉 20mg/kg）。采用

SLAOP 装备后，重金属和有机物降解效率提升 9%，项目提前完工。

节能效果：该项目如果使用常规淋洗工艺，预计需消耗 326.8 吨一水柠檬酸药剂，采用 SLAOP 装备后实际使用 261.4 吨一水柠檬酸药剂，药剂用量下降约 25%。同时，相较常规淋洗工艺，节约水量 50%以上。

如果使用常规高级氧化工艺，预测消耗 1%-5%(质量比)氧化剂，采用 SLAOP 装备后实际使用 0.5-1.5%（质量比）氧化剂，药剂用量下降约 26%。



## 六、推广前景

一套 SLAOP 装备的投资成本为 200 万元人民币，该装备的预计使用寿命为 10 年，每年需支付维护和运行费用 20 万元人民币，那么总成本在 400 万左右，产生的投资回报率较高，处理污染物总量预计至少达到 520 吨。

根据测算，该装备使用一年后，仅需 1.56 年就能回收全部投资成本，效益非常明显。同时，该装备使用相较于常规

的“氧化+淋洗”设备，将节约氧化药剂用量 25%、节约用水量 50%以上、减少废液量 50%以上，环境效益突出。

预计未来三年，该技术装备在江浙沪推广率达 10%左右，污染物减排能力 7800t 污染物/年，实现经济效益 1875 万元/年。

## 七、支撑单位信息

支撑单位名称：上海宝发环技术有限公司

联系人：李云

联系方式：13636353748

## 案例二：

### 中科鼎实环境工程有限公司原位热脱附装备

#### 一、技术适用范围

适用于石化、焦化、化工、农药等行业污染土壤和地下水中苯系物、石油烃、卤代烃、多氯联苯、二噁恶英等挥发性有机污染物和半挥发性有机污染物的治理。

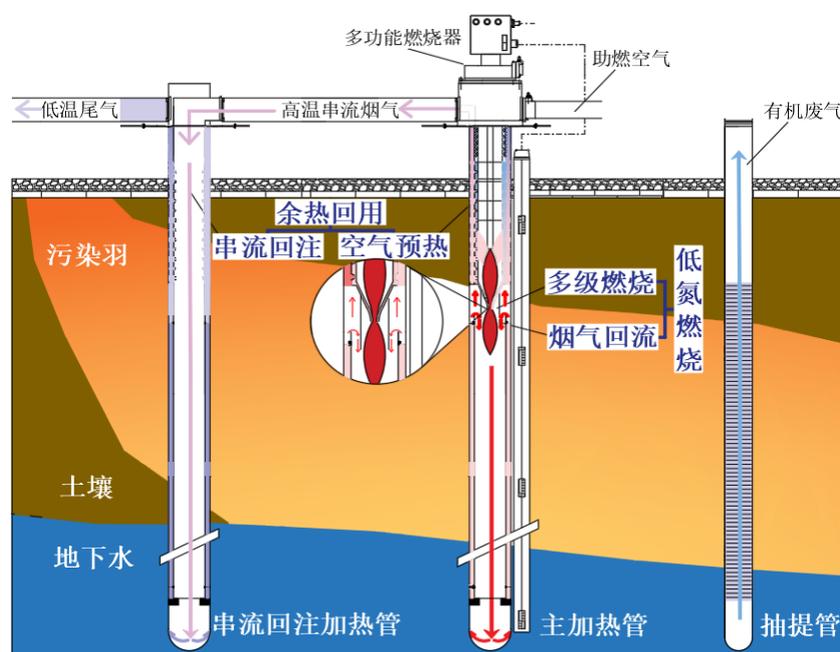
#### 二、技术原理及工艺

原位热脱附技术是通过加热地下土壤的方式，使土壤中的有机物挥发至土壤气体中，然后在地上的真空泵形成的负压状态下，使含污染物的气体通过抽提管道进入尾气处理装置，处理达标后排放至大气，从而达到清洁土壤的目的。该技术由加热系统、抽提系统、废水废气处理系统、监测系统和中央控制系统等组成。根据加热系统使用的能源不同可分为燃气加热原位热脱附和电加热原位热脱附两大类。

##### （一）燃气加热原位热脱附技术工艺

燃气加热原位热脱附技术工艺流程如图 1 所示。在燃烧器中通入天然气和助燃空气进行点火燃烧，产生的高温气体通过埋入待加热区地下的双层辐射管加热土体，从而使有机污染物挥发，达到土壤修复的目的。加热系统运行过程中通过多种方式进行降低  $\text{NO}_x$  等污染物排放和降低能耗：采用烟气回流技术使 10%左右的烟气通过回流通道再次进入燃烧室，实现多次燃烧，提高燃烧效率，降低氮氧化物生成；采

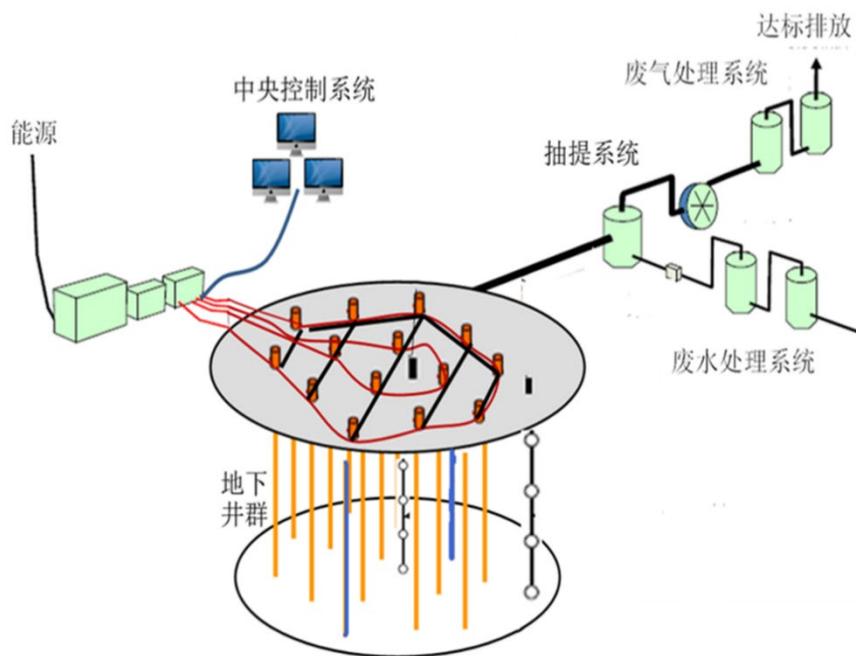
用串流回注技术将主辐射管排出的高温烟气串联管道后流入下一口加热井再次加热土体，实现热能的高效利用。



燃气加热原位热脱附技术工艺

## (二) 电加热原位热脱附技术工艺

电加热原位热脱附技术工艺流程见图 2。首先在修复场地根据污染物类别确定井间距、加热功率和加热时间等关键参数，然后根据场地水文地质及污染物分布规律（水平和垂直）情况进行布设加热井、抽提井及监测井及设备安装。安装调试完毕后，启动加热设备对场地进行升温，通过现场监测井内的环境监测数据（温度和压力），开启抽提及尾气尾水设备，将污染物进行抽提，达标处理后进行排放。修复过程中结合场地温度、抽提气体污染物浓度及现场采样检测数据，判断土壤修复是否达标，进而停止系统运行。



电加热原位热脱附技术工艺

### 三、技术指标

燃气加热原位热脱附燃烧器运行功率：30 kW ~ 60 kW，  
 排烟风机排烟风压：3kPa ~ 5 kPa；处理深度：5m ~ 30 m。

电加热原位热脱附技术加热深度 > 15 m，运行功率 0 ~ 2 kW/m 可调，加热设备温度 20°C ~ 600°C，场地升温 20°C ~ 300°C；能够处理包括 VOCs、SVOCs 污染类型的有机污染场地，修复效率达到 95%以上，尾气处理效率 98%以上。

### 四、技术特点及先进性

燃气加热原位热脱附高温烟气串流回注技术开发自预热式节能燃烧器，针对燃气热脱附技术排烟温度高、排放烟气不达标、能源利用效率低等技术瓶颈，通过烟气-助燃风换热、多级燃烧、烟气回流、脉冲控制燃烧等方式，实现提高能源利用效率；开发高温烟气串流回注装备，针对加热井纵

向温差大、排烟热损失高、能源利用效率低等技术瓶颈，通过利用高温烟气二次加热，有效提高能源利用效率。

电加热原位热脱附技术的主体设备电加热管采用多段串联或并联组合方式，可实现超深加热（5m~30m）、定深加热和精准定位加热。在电热丝和保护钢管之间采用绝缘材料填充，可减缓电热丝的氧化程度，有效延长其寿命；电加热管各加热段功率可选，通用性强、更换方便、可多次重复使用，极大节约设备投资成本。

## 五、应用案例

项目名称：首钢园区焦化厂污染治理项目

占地面积 15.5 公顷，污染土总计方量约 23.4 万 m<sup>3</sup>，其中原位燃气热脱附工程 8.3 万 m<sup>3</sup>。

投运时间：2019 年 6 月正式运行。

验收情况：2020 年 3 月验收完毕。



## 首钢园区焦化厂污染治理项目

项目修复效率 > 95%，场地污染达到场地修复目标；尾气处理效率 > 98%，达到《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)中无组织排放监控限值；废水处理效率 > 99.9%，达到《城市污水再生利用工业用水水质》(GB/T 19923-2005)标准要求。

### 案例项目主要工艺及控制参数

序号	名称	运行和控制参数
1	加热目标温度	100°C ~ 300°C
2	加热功率	1 kW ~ 2 kW/m
3	加热井间距	2m ~ 3 m
4	升温运行时间	60d ~ 90d
5	保温运行时间	10d ~ 20d

原位热脱附技术通过高温烟气串流回注、多级燃烧、脉冲控制、定深加热等方式可提高能源利用效率，节能减排；首钢园区焦化厂污染治理项目和苏化厂污染土壤/地下水修复项目应用该技术可节约能源 20%以上。

## 六、推广前景

目前全国土壤修复业务量呈稳定上升阶段，未来将会产生更多的土壤修复项目，市场需求将扩张，预计“十四五”期间将会产生 850 亿元的市场份额，有机类修复工程项目将至少占总修复项目的 50%；原位热脱附技术可处理 VOCs、SVOCs、NAPL 等绝大多数有机物，适用范围广；且修复过

程中无需开挖场地，避免土壤的挖方和运输，二次污染较少，运行成本低；另外，该技术还可以处理恶劣的土壤环境（如粘土、淤泥等），十分适合国内有机污染场地的推广应用，在未来 3-5 年市场应用中具有巨大潜力。

## **七、支撑单位信息**

支撑单位名称：中科鼎实环境工程有限公司

联系人：於进

联系方式：18550867345

### 案例三：

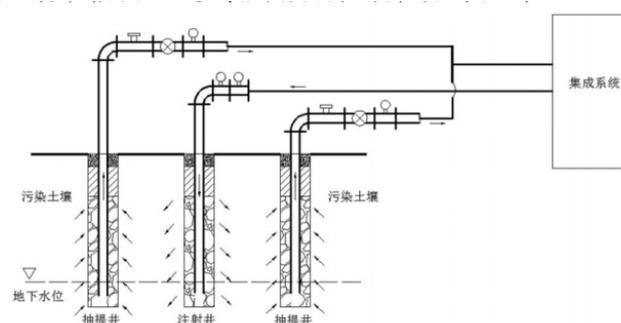
## 武汉瑞景环境修复工程有限公司多相抽提原位化学氧化撬装成套装备

### 一、技术适用范围

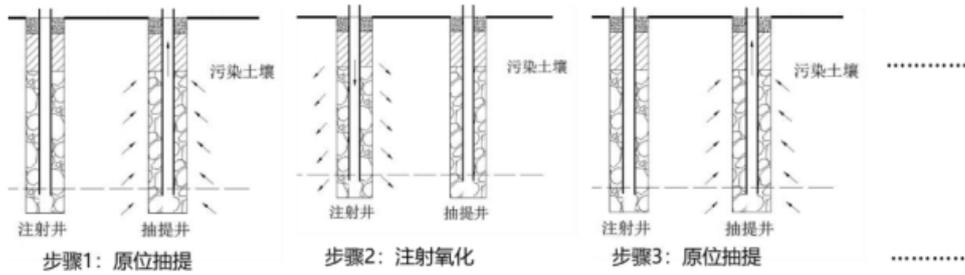
适用于渗透性石油经类污染土壤及地下水修复。

### 二、技术原理及工艺

该技术装备主要由两种模式组成。其中模式 1 原理及特征：在向土壤中注入药剂的同时进行多相抽提，利用多相抽提来加速药剂在土壤中的扩散，同时利用原位化学氧化注入药剂时产生的压力使土壤始终保持压力平衡的状态。可同步将土壤中不同形态有机污染物进行去除。模式 2 原理及特征：先利用抽提技术去除土壤中的 NAPL 及高浓度污染物，减少氧化剂的使用；后利用抽提技术去除土壤中的 NAPL 及高浓度污染物，减少氧化剂的使用；再利用抽提技术将小分子及挥发态污染物从土壤中抽出，达到彻底去除污染物的目的。



模式 1-注射抽提同步进行



模式 2-先抽提后氧化循环

### 三、技术指标

技术指标:管道流量:0 ~ 9m<sup>3</sup>/h;药剂储存≥10t;携带井数 15 个 ~ 30 个;井径:25mm;注射/抽提影响半径:2.0m ~ 6.0m;最大注射/抽提井深:15m;注射/抽提压力:0.02MPa ~ 0.08MPa;平均气体抽提流量:200Nm<sup>3</sup>/h ~ 1000Nm<sup>3</sup>/h;有机物（烧类为主）去除率>90%。

### 四、技术特点及先进性

（一）实现 2 种技术的完美联合，解决单一技术修复困难的问题。可避免多相抽提技术受水文地质条件影响较大、具有“拖尾”效应和无法处理石油类污染的缺点；消除了化学氧化技术面对高质量浓度污染场地时成本高昂、无法彻底修复低渗透性污染土壤和使用芬顿试剂时存在发生爆炸风险等问题；

（二）运用了先进的自动化控制系统，修复效率高、可多点位同时修复。采用撬装式的模块化设计，节约设备现场安装时间，还可根据场地不同污染特征选择多种修复模式，提高设备的适用范围，降低修复成本。

## 五、应用案例

项目名称：荆州某搬迁改造地块修复项目

项目概况：荆州某搬迁改造地块修复工程项目，地块土壤存在乙苯污染，污染源为该公司主要生产有机溶剂、苯酐、增塑剂染料中间体、不饱和聚酯树脂等系列产品。采用原位氧化-多相抽提联用技术进行修复治理，修复前乙苯最大浓度为 31.1mg/kg，污染深度 2.6m，污染面积 2547.65m<sup>2</sup>，修复目标值为 0.39mg/kg。采用原位氧化-多相抽提联用装置进行污染地块土壤的修复，验收单位分别采集 0.5、1.5、2.5m 土壤样品，送至具有 CMA 资质的第三方实验室进行检测，乙苯浓度均达标（<0.32mg/kg），去除效率高达 98.97%，且实施过程中未造成大气、水等二次污染，也未收到公众投诉，顺利通过验收。

## 六、推广前景

目前国内对多相抽提+原位化学氧化（MPE+ISCO）联合修复技术处理污染土壤和地下水的理论较少，工程应用起步较晚，仅有少数中试研究，尚无大规模的工程应用示范和自主研发的一体化、智能化成套修复设备。该协同工艺的研究及一体化成套修复设备，未来会有良好的市场前景。实际工程应用预计可提高 10%污染场地治理修复效率，节约 20%修复投入的人工成本、施工机械使用成本的成本费用。协同工艺和配套设备成功开发后，预计每年产生直接经济效益

400 万元，未来三年可能增加 1200 万收入。

## 七、支撑单位信息

支撑单位名称：武汉瑞景环境修复工程有限公司

联系人：李玲

联系方式：18827633280