附件：

《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录（2020 年版）》供需对接指南之十六：土壤污染修复技术装备典型案例

目　录

案例一：成都天本地源科技有限公司土壤原位修复智能喷射深施机.....1
案例二：宝航环境修复有限公司土壤异位淋洗智能撬装装备.....3
案例三：新冶高科技集团有限公司有机污染土壤异位微波修复装备.....5
案例四：中科鼎实环境工程有限公司原位热脱附装备.....7
案例五：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.....10
案例六：北京建工环境修复股份有限公司土壤及地下水高压旋喷原位注射修复技术装备.....13
案例七：中科鼎实环境工程有限公司原位空气注入与生物强化集成修复装备.....16
案例八：中科鼎实环境工程有限公司原位深层搅拌注入修复系统.....18
案例九：中科鼎实环境工程有限公司异位常温解吸有机污染物处理装备.....21
案例十：中科鼎实环境工程有限公司异位热脱附装备.....23

案例一：

成都天本地源科技有限公司土壤原位修复智能喷射深施机

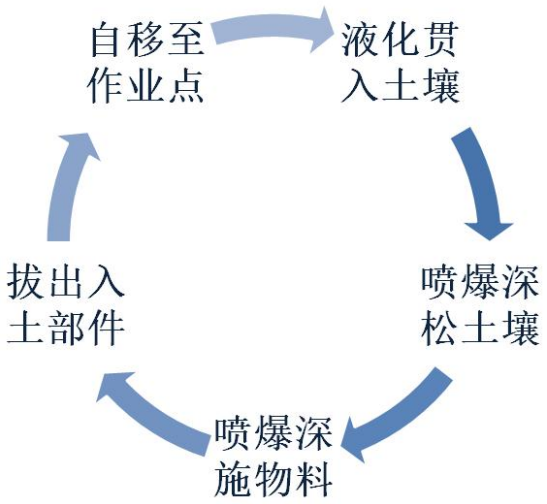
一、技术适用范围

适用于重金属污染土壤、有机物污染土壤、耕地土壤修复，农业面源污染治理、矿山生态修复等。

二、技术原理及工艺

采用压缩空气冲击波以非开挖非接触工艺实现定点精准靶向土壤原位修复，在不伤地表和不乱土层前提下，实现试剂与目标土壤进行深部均匀混合和反应目的。

核心工艺：确定目标修复土壤→液化贯入土壤→土壤喷爆深松→试剂喷射深施→喷料枪拔出→自移至下一作业点并循环重复。



工艺流程图

三、技术指标

土壤处理量≥200m^3/d；单次处理时间≤60s/循环；单次处理量≥0.25m^3；无故障使用≥180d；物料有效扩散半径：200mm～5000mm；修复深度：100mm～1200mm；遥控操控系统，定位、定量和定深度智能系统。较传统原位修复工艺，土壤修复试剂混合利用效率：60%；修复效果提升30%。。

四、技术特点及先进性

地表破坏程度、植物根系损伤程度和土层扰乱程度低。同时可实现深部击散土壤、深部施撒物料和智能精准作业。

五、推广前景

该技术装备适用区域广且受限小，智能作业精准高效，可广泛用于工业、农业和生态领域，解决土壤原位修复作业难题，市场前景广阔。

案例二：

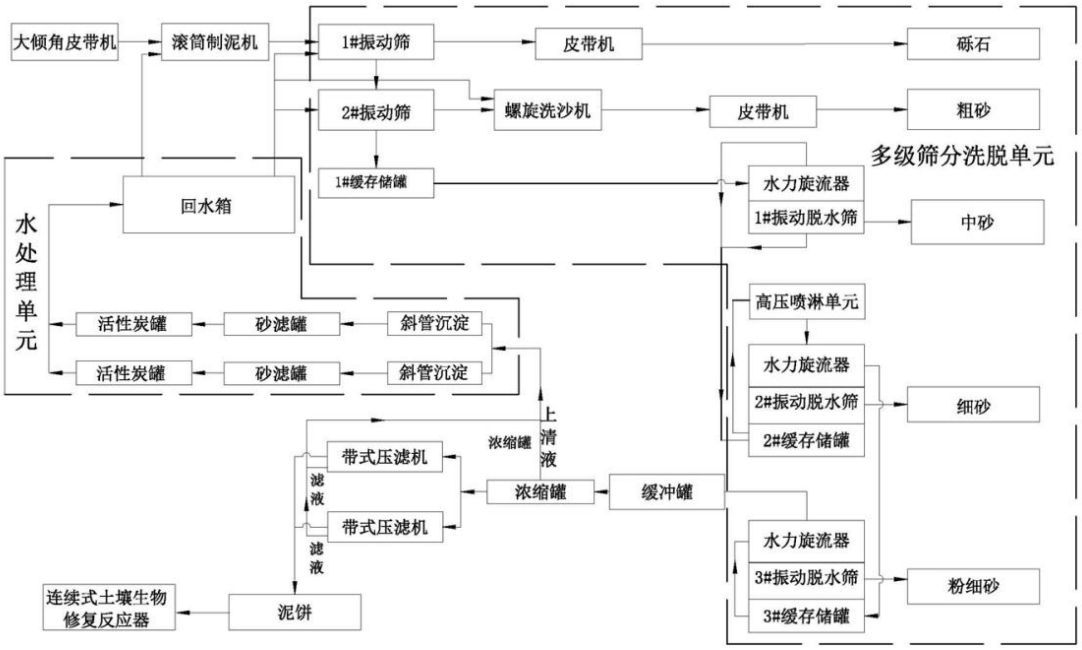
宝航环境修复有限公司土壤异位淋洗智能撬装装备

一、技术适用范围

适用于工业企业污染地块重金属、石油类、农药类及其它有机污染物污染土壤修复，及油田石油污染土壤修复、河道底泥修复。

二、技术原理及工艺

采用物理分离和增效淋洗等工艺，将挖出的污染土壤经过筛分、破碎等预处理后，利用清水或药剂溶液等淋洗液通过淋洗液的解吸、螯合、降解、氧化/还原、溶解或固定等物理、化学或生物作用，去除重污染土壤组分或使污染物从土壤相转移到液相，降低土壤中的污染物含量或实现污染土壤的减量化。



工艺流程图

三、技术指标

设备装机功率约：500kW；处理能力≥40t/h，或以土壤密度1.6t/m^3计算，处理能力≥25m^3/h；24h/d连续运行，稳定运行时间不低于总运行时间70%；针对含石油类污染土壤，泥饼经过该系统处理后含油率低于0.3%，满足《农用污泥中污染物控制标准 》（GB 4284-84）要求，同时满足《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）II类用地标准要求。

四、技术特点及先进性

（一）与传统淋洗工艺相比，高压喷淋洗脱单元针对小于0.25mm的细砂、粉粒浆液中污染物去除率提高50%以上，适用处理的污染土中的微细颗粒（≤0.075mm）占比可由25%～30%提高到35%～40%。

（二）所有用水均通过系统内处理后回用，后置连续式深度化学/生物反应器，可针对富集污染进行深度化学反应或生物降解，修复成本低。

（三）采用框架式撬装结构，可自由组合，快速、灵活，适配不同污染场地。

（四）可实时采集并传输数据，基于物联网和云计算，通过智能学习，控制并优化现场运用。

五、推广前景

该技术装备对于城市工业场地修复、油田石油污染土壤修复、河道底泥修复均有良好的使用效果，应用前景广阔。

案例三：

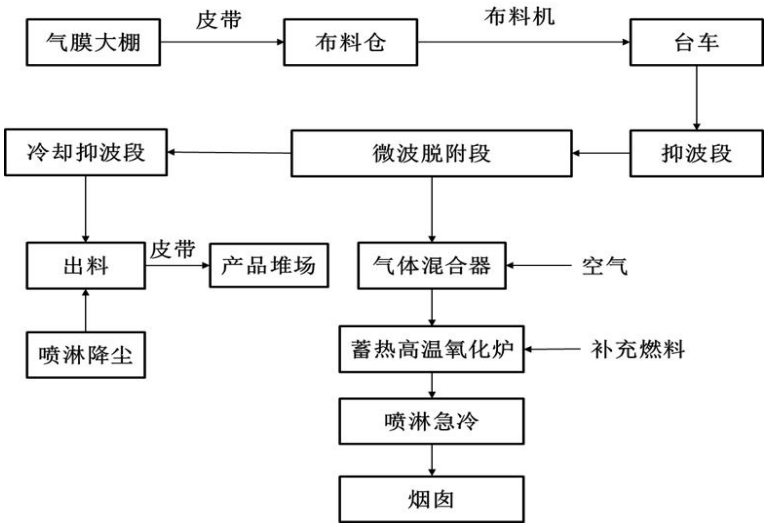
新冶高科技集团有限公司有机污染土壤异位微波修复装备

一、技术适用范围

适用于有机物污染土壤修复。

二、技术原理及工艺

采用微波热脱附处理技术对有机类污染土壤中的污染组分进行处理。通过微波的体加热方式，使污染土壤整体同时受热，优化了传热和传质条件。通过微波选择性加热和各物质的介电常数，使土壤中的水分、有机污染组分优先于土壤基质加热；污染土壤在微波场中，有机污染物组分和水分优先受热，被加热到沸点，气化从土壤中逸出。在微负压脱附腔的作用下，污染物被促进从土壤中脱附进入烟气中。土壤经过冷却降温后检测合格即可回填。烟气采用高效蓄热烟气处理技术，处理后烟气达标排放。



工艺流程图

三、技术指标

热脱附环境温度：150℃～300℃；脱除效率＞98%；粉尘含量＜10mg/m^3；工艺电耗＜350kW·h/m^3土，综合能耗＜50kgce/m^3土；挥发性有机物排放达到相关标准要求。

四、技术特点及先进性

（一）利用微波加热优势，热效率高，能耗低，较同类传统工艺降耗50%以上。

（二）对土壤基质的损伤小，可避免陶粒化。

（三）采用撬装化装备设计，土建要求低，设备灵活可移动。

五、推广前景

随着我国生态文明建设的推进，以工业污染场地修复为代表的土壤修复行业迎来快速发展机遇，“十四五”期间，土壤修复约有3000亿市场容量。微波土壤修复技术成本低、低碳绿色、应用范围广等特点，不仅能够完成钢铁企业用地修复，恢复城市土地功能，还能够应用在石油化工等工业废弃地修复、油泥污染、河道淤泥及渗滤液等棕地处理中，应用前景广阔。

案例四：

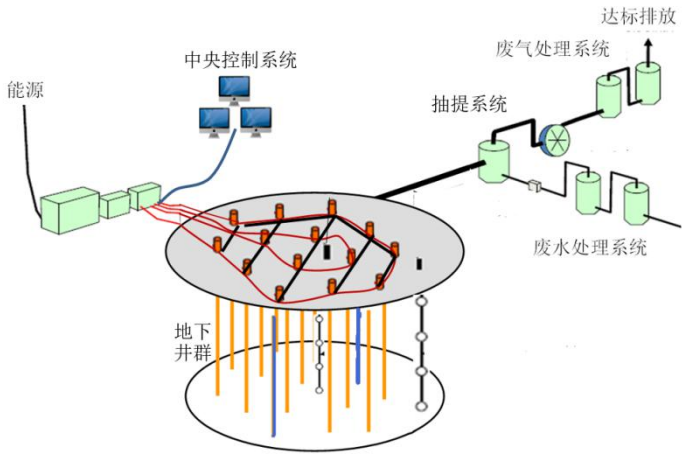
中科鼎实环境工程有限公司原位热脱附装备

一、技术适用范围

适用于有机物污染土壤修复。

二、技术原理及工艺

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，使含污染物的气体有组织地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。该技术装备由加热系统、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。



工艺流程图

三、技术指标

处理能力≥1.7×$10^5$$m^3$/a；加热温度区间：20℃～300℃；污染物去除效率＞99.99%；加热棒温度设置区间：20℃～600℃；处理深度：5m～30m；加热深度＞15m；电修复效率

＞95%；尾气处理效率＞98% ，达到《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）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；废水零排放。

四、技术特点及先进性

（一）通过烟气-助燃风换热、燃气多级燃烧、烟气回流二次燃烧、脉冲控制燃烧等方式，提高能源利用效率，烟气达标排放。

（二）在电热丝和保护钢管之间填充惰性气体，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，通用型强，更换方便，且使用寿命长，可多次重复使用，节约建设投资成本；无线控制及远程监控。

五、应用案例

项目名称：苏化厂原址 2 号地块污染土壤和地下水修复项目

项目概况：该地块位于江苏省苏州市，属于长江经济带地区，目标污染物为氯代烃，修复深度 16m，修复污染土壤方量约 20 万 m^3。主要污染物氯乙烯、氯仿、四氯化碳、1,1,2-三氯乙烯等初始浓度分别为 9.17、2.89、5.56、8.56mg/kg，修复后其去除率分别可以达到 99.8%、97.2%、98.6%、97.5%，项目的实施有效改善苏化厂生态环境及质量，降低周围居民健康风险。

六、推广前景

随着近年来污染场地治理行业的蓬勃发展，特别是在有

机污染场地治理方面，国内已出现异位热脱附相关的国产化设备开发应用、工程承包等方面的起步发展；但在原位热脱附技术方面尚处于研发中试阶段，面对未来有机污染场地有上千亿元的市场，原位热脱附技术和设备的发展潜力巨大，近三年内有望通过设备研发形成专业的原位热脱附设备，逐步完善热脱附技术体系建设，带动整个热脱附技术和设备相关市场的产业化发展，具有良好推广前景。

案例五：

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

适用于中等渗透性的工业场地土壤及地下水污染修复。

二、技术原理及工艺

采用多相抽提原位化学氧化撬装成套装备联合修复工艺，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。

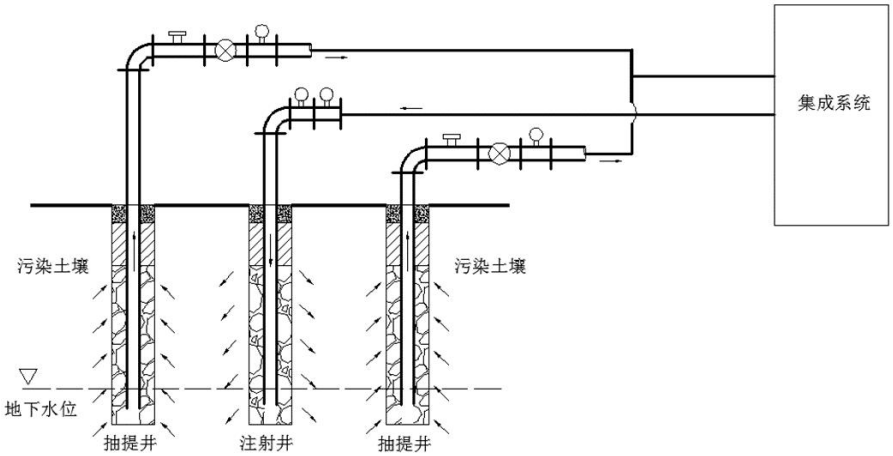


图 1 模式 1-注射抽提同步进行

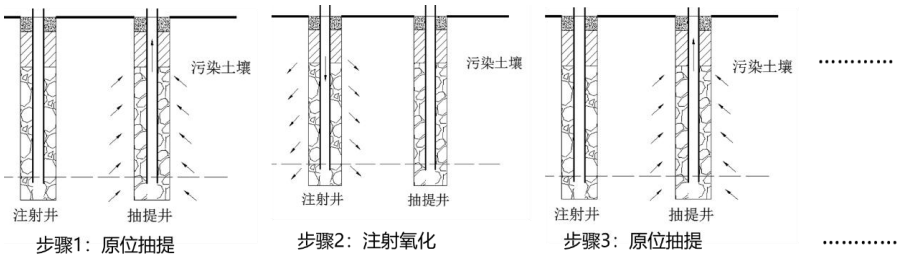


图 2 模式 2-先抽提后氧化循环

三、技术指标

管道流量：0～9m^3/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^3/h～1000Nm^3/h；有机物（烃类为主）去除率＞90%。

四、技术特点及先进性

（一）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）设备现场安装程序简便，安装时间短。修复模式可选度灵活，适用范围广，修复成本低。

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^2，修

复目标值为 0.39mg/kg，项目验收单位分别采集 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),污染物去除效率约 98.97%，且实施过程中无二次污染。

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，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，市场前景良好。

案例六：

北京建工环境修复股份有限公司土壤及地下水高压旋喷原位注射修复技术装备

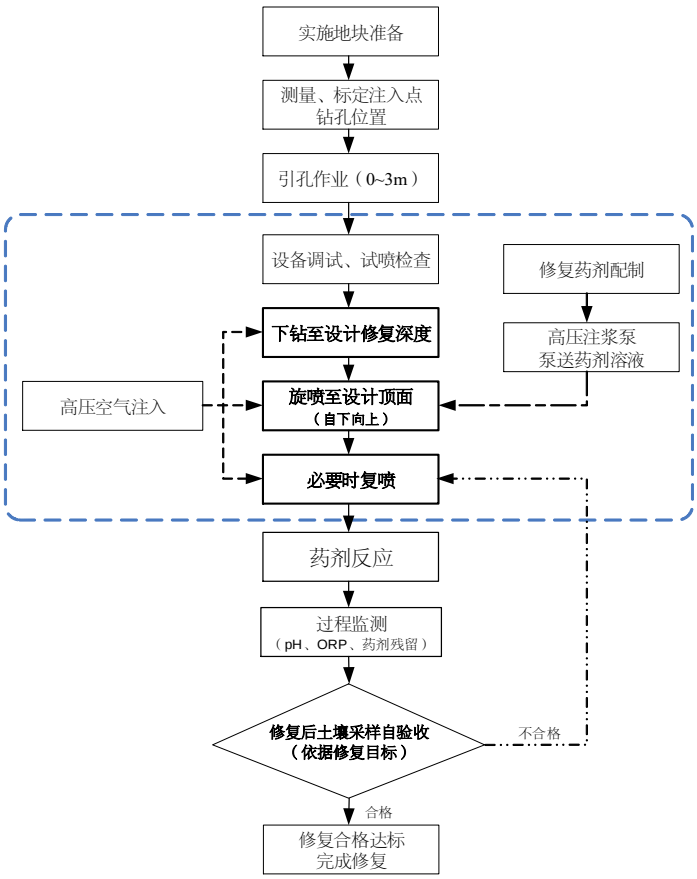
一、技术适用范围

适用于工业污染场地重金属、有机污染物治理及地下水原位修复。

二、技术原理及工艺

该技术装备主要由旋喷钻机、注浆泵、高压空气压缩机、药剂配药站以及相应的输液、输气管线等构成。原理为将带有特殊喷嘴的注浆管（钻杆）钻探进入土层的预定深度，在注浆泵和高压空气压缩机的作用下将配制好的药剂和高压空气通过喷嘴高压高速喷出，带喷嘴的注浆管在喷射的同时向上提升，高压液流对土体进行切割搅拌，使修复药剂与污染土壤及地下水充分混合。

设备主要操作流程：将污染区场地平整和压实后，确定注入点钻孔位置并自地表引孔，穿透硬层或基础。采用气、液二重管工艺自下而上旋转提升钻杆的同时，自孔内高压注入修复药剂（如氧化药剂、还原药剂等）、活化剂及空气至土壤和地下水中，通过高压液流切割搅拌使修复药剂与土壤、地下水充分混合并在含水层中进一步扩散，从而实现修复药剂的高效投加。



工艺流程图

三、技术指标

效率指标：药剂注射作业效率：9m/h～30m/h；土壤原位注射效率 $10m^3/h$～$50m^3/h$。

技术指标：土壤和地下水深度：3m～30m；扩散半径：0.9m～2.9m；氧化剂投加比：0.5%～3%。

工作指标：注射压力：25Mpa～30 Mpa；空气压力控制在 0.3Mpa～0.8MPa；注射流量：20L/min～120 L/min；钻杆提升速度：10cm/min～20cm/min；钻杆旋转速度：5r/min～25 r/min。

能耗指标:设备整体装机功率:23.5kW,能耗约 20kW·h/h。

四、技术特点及先进性

应用土质范围广、砂层扩散半径大，可定深度修复。

五、应用案例

项目名称：原武汉染料厂生产场地重金属复合污染土壤修复治理工程

项目概况：项目位于武汉市，土壤修复方量 37.02 万 m^3，其中原位高压旋喷技术修复土壤方量约 2.24 万 m^3。实施周期为 22 个月。土壤主要受氯苯、1,2-二氯苯、苯、四氯化碳、二甲苯、萘、苯胺等污染。经高压旋喷原位注射技术修复的部分污染土壤，达到修复目标值，总体去除效率在 80%~90%以上。单台（套）技术装备在基准应用场景下的投资成本约 150 万元，项目修复期间投入 3 套，完成修复土壤产值 1550 万元。土壤处理运行成本 500 元/m^3~650 元/m^3，其中药剂占 70%，机械占 20%，其它占 10%。

六、推广前景

我国污染场地数量大，修复需求旺盛，现阶段国内修复技术落后，尤其是缺乏能工程化应用的原位修复技术。由于污染土壤面积大，污染情况复杂多变，对治理技术和工艺要求极高。原位化学氧化/还原技术对污染物的去除效率在 80%以上，依据 2019 年的统计数据，采取化学氧化/还原修复的项目占比约为 26.6%，其中采取高压旋喷原位注射修复的占比为 90%以上，市场占有率在 24%左右，具有良好推广前景。

案例七：

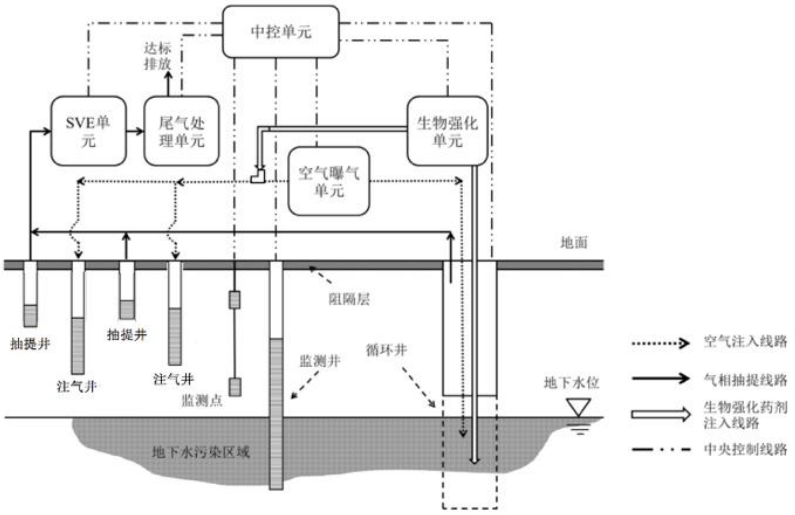
中科鼎实环境工程有限公司原位空气注入与生物强化集成修复装备

一、技术适用范围

适用于挥发性、半挥发性有机物污染土壤和地下水修复。

二、技术原理及工艺

采用“空气注入-生物强化”集成修复技术，将一定体积的压缩空气注入包气带土壤中，通过吹脱、挥发、解吸等作用，使得包气带中的等挥发性有机物（VOCs）随着气流上升，进而被 SVE 系统收集并处理，从而去除土壤中 VOCs。由于空气注入过程向地下注入氧气，提高了氧气含量，生物强化系统注入了微生物生长所需的营养物质，为好氧降解菌创造良好的生长条件，提高了土壤中好氧微生物的活性，从而强化目标污染物的去除，降低处理成本，控制污染物浓度反弹和拖尾现象。



技术路线图

三、技术指标

处理量≥4000m^3/套，处理时间：180d～270d；抽提压力≤-20kPa；土壤中挥发性有机物去除率≥99.9%；土壤中多环芳烃污染物去除率≥72%；修复后土壤中目标污染物达到《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）要求。

四、技术特点及先进性

在注气井技术方面，实现了通过注气井的设立增加抽提井的影响半径，从而减少井数量的目的，同时减少了整体修复时间。

五、应用案例

项目名称：首钢园区焦化厂原料地块土壤修复工程

项目概况：该项目位于北京首钢园区焦化厂原料地块，该地块地层以卵石层为主，渗透性好，地下水埋深为43m左右；土壤中主要污染物为多环芳烃、挥发性有机物和石油烃，其中挥发性有机物主要为苯系物。对于包气带土壤采用“空气注入-气相抽提-生物强化”集成修复技术，提高了修复效率，降低了污染场地的修复成本，修复土方量为44200m^3。

六、推广前景

项目实施仅京津冀地区的直接和间接经济投资可达到数十亿元，创造就业岗位上千个。可消除污染土壤和地下水带来的健康风险，提高居民生活的环境质量，项目的开展有助于全国污染土壤及地下水治理行业产业链的形成，具有良好推广前景。

案例八：

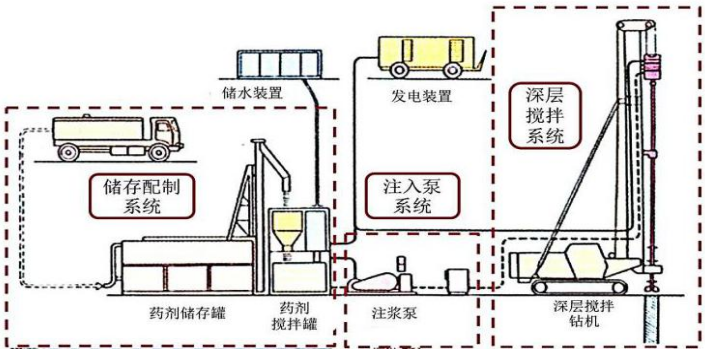
中科鼎实环境工程有限公司原位深层搅拌注入修复系统

一、技术适用范围

适用于有机物及重金属污染土壤修复。

二、技术原理及工艺

采用原位深层搅拌注入修复技术，在土壤深度较大或土壤渗透性低的污染区域，通过边搅拌边加注药剂方式向土壤中添加化学药剂，在药剂作用下污染物发生氧化/还原反应或被固化稳定化，使其降解或转化为低毒、低移动性产物。该技术装备由药剂配置输送系统、深层搅拌系统和土壤加固系统三部分组成，药剂配置输送系统将药剂输送至深层搅拌系统，深层搅拌系统钻头采用双向、双轴（也可以是单轴、或三轴）、多层叶片同时搅拌污染土壤，侧面喷嘴和底端喷嘴在搅拌同时采用高压喷射药剂，搅拌与喷药复合施工使土壤与药剂均匀混合并充分反应，污染物被降解或发生形态变化；待修复达标后，采用加固系统提高修复区的地基承载力。



工艺流程图

三、技术指标

处理量≥90000m^3/a；单轴搅拌范围≥1.2m×0.8mm；加压后的药剂喷射半径≥1.0m；有机污染物去除效率≥97%；修复后土壤中目标污染物达到《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）要求。

四、技术特点及先进性

适用于低渗透性污染土壤，可避免修复死角、缩短修复周期、提高修复效率。

五、应用案例

项目名称：聚醚部东丽厂区场地污染修复治理项目北区土壤修复工程

项目概况：该项目位于天津，属于重点区域——京津冀地区，污染物为苯、1,2,3-三氯丙烷、石油烃等，苯最大浓度为184mg/kg，1,2,3-三氯丙烷最大浓度880mg/kg，总石油烃中C＜16的最大浓度21019mg/kg,污染土壤方量9万方。采用深层搅拌注药-化学氧化修复，运行周期约1年。修复目标值如下：土壤中苯、1,2,3-三氯丙烷、总石油烃中C<16的浓度分别为0.65mg/kg、0.05mg/kg、50mg/kg、3485.02mg/kg，地下水中苯、1,2,3-三氯丙烷、总石油烃中C＜16的浓度分别为120μg/L、49μg/L、5400μg/L，修复后土壤和地下水中污染物均达到目标值，修复效果良好。处理土壤量总计1800m^3，总投资85.14万元，其中设备投资30.85万元，运行费用74.88万元/a，占地面积50m^2，投资回收年限1年～2年。

为了城市发展和规划，有机化工、矿山开采、冶炼、电镀、金属制造和金属表面处理等企业搬迁遗留下的重金属或有机污染场地（南方土质），尤其适用采用原位深层搅拌技术进行处理。修复后地块可作为建设用地或城市绿地开发再利用。该技术的社会效益和经济效益明显，为城市发展提供强有力的技术支撑。

六、推广前景

我国南方污染场地存在大范围粘土区域，此类污染场地具有粘土含量大、渗透性差、地下水位高等特点，一般药剂注入手段难以使药剂与土壤均匀有效混合，注入周期长，修复效果难以满足要求；该技术装备主要针对此类污染场地特点开发，既可单独应用于渗透性低的污染场地治理，也可与其他技术联用提高修复效率，在低渗透性污染场地应用中具有良好的发展前景。

案例九：

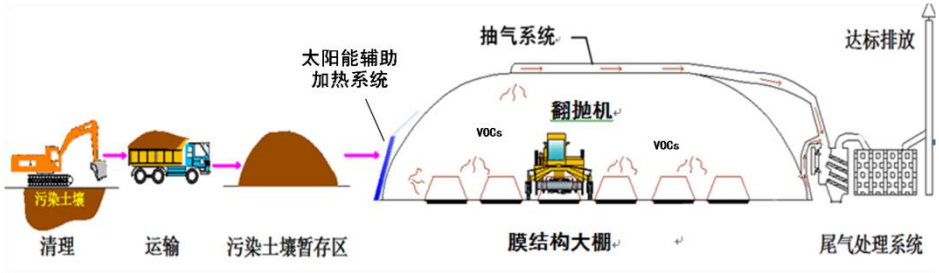
中科鼎实环境工程有限公司异位常温解吸有机污染物处理装备

一、技术适用范围

适用于挥发性、半挥发性有机物污染土壤修复。

二、技术原理及工艺

采用常温解吸修复技术，利用密封的运输车将污染土壤运至常温解吸系统内，将污染土壤倾倒至规定位置上堆积成条垛状，通过太阳能辅助加热系统使系统内温度保持在一定范围内，随后，利用翻抛作业设备降低土壤含水率、增加土壤通透性，污染物在浓度梯度的驱动下挥发进入土壤气，挥发出的废气经抽气系统集中收集并输送至尾气处理系统，经吸附净化后的气体由排风机引致排气筒最终达标排放。该技术装备包括空气支撑膜结构单元、强化处理单元、气体收集处理单元、强化处理单元以及监测控制单元等。



技术路线图

三、技术指标

处理量≥2000m^3/批次；修复周期：2d～7d；有机污染物去除效率≥95%；修复后土壤中目标污染物达到《土壤环境

质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）要求。

四、技术特点及先进性

常温解吸修复技术是一项经济实用的有机污染土壤修复技术，其应用可以快速实现易挥发性有机物污染土壤的修复，并能够用于有效降低易挥发有机物污染场地异位扩散，为焦化厂保障性住房项目提供了土地安全再利用保障，在改善城市生态环境，提高施工环境安全等方面具有重要作用。

五、应用案例

项目名称：焦化厂保障性住房地块污染土治理修复项目

项目概况：该项目位于北京市朝阳区，场地目标污染物为氯仿、1，2 二氯乙烷等，该项目采用 5 套常温解吸集成系统，修复土方量为 40 余万立方米，修复周期为 1 年，应用常温解吸修复系统修复效果良好，达到了验收标准。项目项目年经济效益约 2.7 亿元。

六、推广前景

常温解吸修复技术作为一种修复挥发性有机污染土壤的成熟可靠的技术，适用于 VOCs 及石油类等多种污染组分的处置,对易挥发性有机物尤其有效，是一种经济环保快速的修复技术，可快速修复污染土壤，对缓解目前城市用地资源具有重大帮助，经济效益明显，应用前景广阔。

案例十：

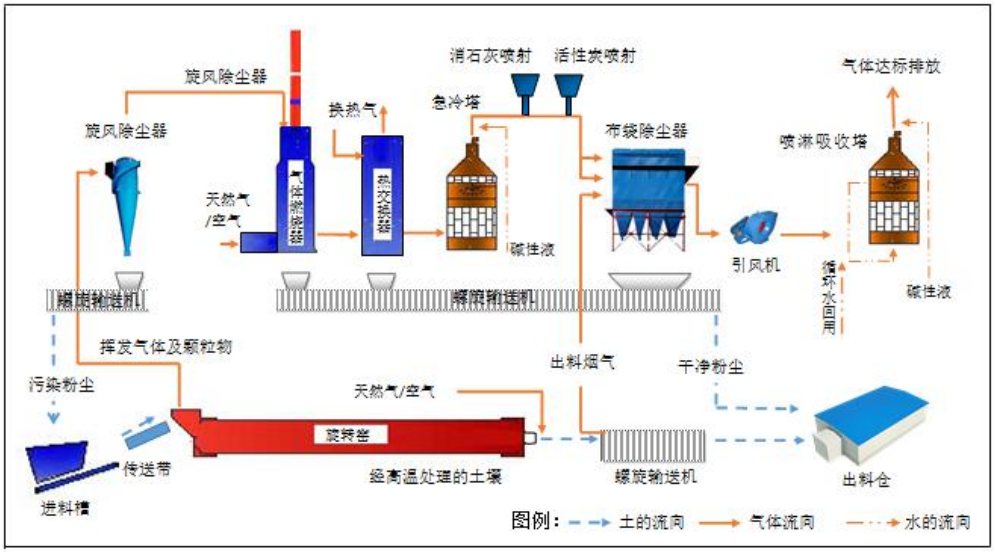
中科鼎实环境工程有限公司异位热脱附装备

一、技术适用范围

适用于挥发及半挥发性有机污染物污染土壤修复。

二、技术原理及工艺

采用异位热脱附技术，通过直接或间接加热将污染介质及其所含的有机污染物加热到足够的温度，使有机污染物得以挥发或分离并进行尾气处理。通过控制系统温度和物料停留时间有选择地使污染物得以挥发，在污染物解吸过程中很少出现对有机污染物的分解破坏作用，可以广泛应用在石油烃（TPH）、挥发性有机物（VOC）、半挥发性有机物（SVOC）、农药甚至高沸点氯代化合物如（PCBs）、二噁英等污染土壤的治理。



工艺流程图

三、技术指标

处理量：30t/h～40t/h；加热温度＞650℃；停留时间

10min ~ 30min；有机污染物去除率≥99%；二噁英≤0.1ng-TEQ/Nm^3；挥发性有机物排放达到《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）要求。

四、技术特点及先进性

该技术装备用于修复污染场地（特别是遗留工业有机污染场地）的污染土壤，能够快速消除污染土壤带来的健康风险，且在有机污染土壤修复过程中采取预处理大棚等防治设施减少了二次污染问题，减少了污染场地修复过程中气体挥发对附近人员的影响。

五、应用案例

项目名称：北京市焦化厂保障性住房地块污染土治理修复

项目概况：该项目位于重点区域——京津冀地区，涉及34.2万m^2范围内约153万m^3污染土壤，污染深度18m，主要污染物包括苯和萘、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽等多环芳烃。项目应用4套自主研发的异位直接热脱附装备，平均处理能力为25m^3/h～30m^3/h，加热温度300℃～600℃，停留时间10min～20min，修复后目标污染物均达到修复目标值，处理后的尾气满足北京市大气污染物综合排放标准要求。

六、推广前景

污染土壤异位热脱附技术产业化应用将为今后PAHs污染土壤、农药类污染土壤和原油污染土壤的修复提供新的技术手段，解决其他技术难以处理高浓度有机污染土壤的难题，

同时大大降低污染土壤修复成本，为国家或业主单位节省土壤修复资金投入，在未来 3 年～5 年市场应用中具有巨大潜力。