

附件

《土壤污染防治先进技术装备目录》

典型应用案例

中国环境保护产业协会

2018 年 1 月

目录

1. 异位间接热脱附技术装备典型应用案例.....	1
案例一.....	1
案例二.....	2
案例三.....	4
案例四.....	6
2. 异位直接热脱附技术装备典型应用案例.....	8
3. 原位气相抽提修复技术典型应用案例.....	10
4. 多相抽提修复技术典型应用案例.....	14
5. 类芬顿氧化法污染土壤修复技术典型应用案例.....	17
6. 污染土壤异位淋洗修复技术典型应用案例.....	18
7. 基于天然矿物混合材料的重金属污染场地稳定化技术典型应用案例.....	20
8. 基于生物质灰复合材料治理土壤重金属污染的钝化/稳定化技术典型应用案例.....	21
9. 水田土壤镉生物有效态钝化/稳定化技术典型应用案例.....	22
10. 砷污染土壤蜈蚣草修复技术典型应用案例.....	23
11. 土壤与修复药剂自动混合一体化设备典型应用案例.....	25
案例一.....	25
案例二.....	26
案例三.....	27
案例四.....	28
12. 车载式原位注入装备典型应用案例.....	30
13. 污染土壤及地下水高压旋喷注入装备典型应用案例.....	32
14. 污染地块直接推进式钻探与采样系统典型应用案例.....	34
案例一.....	34
案例二.....	35
15. 土壤砷（形态）、镉、汞液相-原子荧光（LC-AFS）分析仪典型应用案例.....	37

1. 异位间接热脱附技术装备典型案例

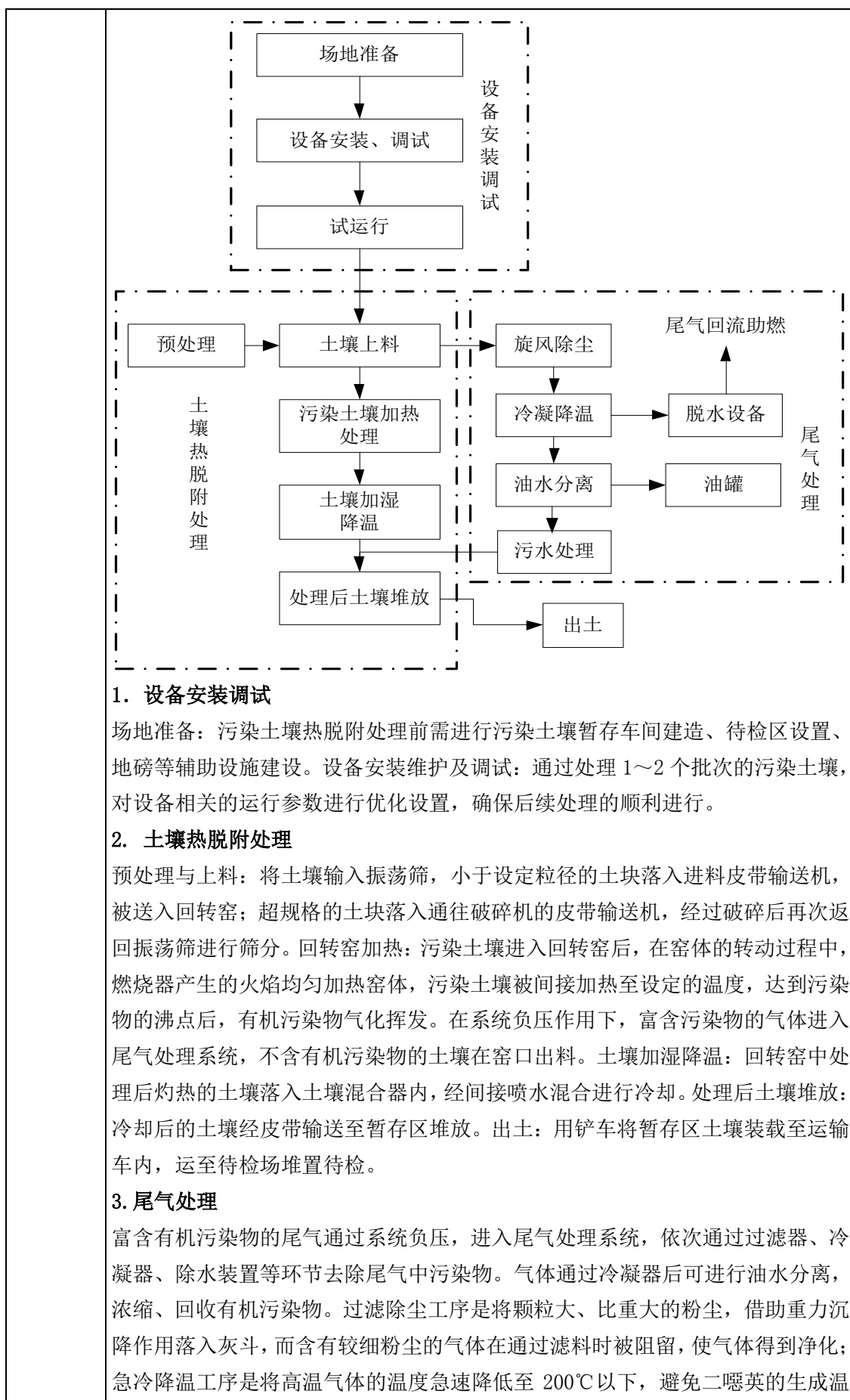
案例一

案例名称	浙江某热电厂污染土壤修复服务项目（一期）
案例概况	业主单位：宁波艾博环保科技有限公司。 项目原场地为热电厂，2008 年停产。后续用地规划为商业用地和居住用地。该场地土壤及地下水均受污染，主要污染物包括苯并[a]芘、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽。项目共涉及土壤修复工程量 18483m³，地下水修复工程量 8292m³，其中需要热脱附处理污染土壤 7500t。 项目工期 240 天。 该场地存在高浓度污染土壤，目标污染物为多环芳烃，沸点高，最终论证采用热脱附技术对该部分土壤进行修复。热脱附技术修复此类污染土壤的优势：间接加热，燃烧产生的烟气和脱附过程中产生的含污染物气体可采用不同工艺分别处理，处理指标稳定，处理量大；自动化程度高，可连续生产。 验收单位：宁波艾博环保科技有限公司；验收时间：2015 年 11 月；验收结论：杰瑞环保科技有限公司提供的污染土壤热脱附修复作业，经过现场施工，产品质量稳定可靠，作业完全符合合同要求。
工艺流程	1. 挖掘污染土壤并收集到指定区域进行预处理；2. 预处理主要包括筛分、破碎、脱水；3. 预处理合格的土壤被输送至间接热脱附设备内进行处理；4. 经处理，土壤中污染物气化后与土壤分离，土壤中污染物指标达到处理要求；5. 热脱附过程中产生的含污染物气体进入喷淋单元处理，处理后的污水进入水处理单元处理后回用；6. 喷淋单元后的不凝气经处理后达标排放。
主要工艺及设备参数	设备处理量 8t/h；环境温度-10~30℃；环境湿度≤85%；物料处理温度 450~650℃可调；物料停留时间 10~60min 可调；加热燃料为天然气。
应用效果	处理后土壤中苯并[a]芘≤0.2mg/kg，苯并[a]蒽≤0.85mg/kg，苯并[b]荧蒽≤0.85mg/kg。
二次污染防治情况	本项目中的烟气排放控制指标为：二氧化硫≤200mg/m ³ 、氮氧化物≤500mg/m ³ 、颗粒物烟尘≤65mg/m ³ 、二噁英≤0.5ngTEQ/m ³ 。对于污染土壤加热过程中产生的不凝气体，在系统内配置了不凝气处理系统进行除尘、除水净化等一系列处理，污水经处理后回用，避免了二次污染。
投资费用	设备投入 2200 万元。
运行费用	运行费用 220 万元。

申报单位：杰瑞环保科技有限公司
 联系人：宋修福
 联系电话：0535-6766498，15966529955
 传真：0535-6766392
 电子信箱：xiufu.song@jereh.com

案例二

案例名称	广钢白鹤洞地块污染土壤修复项目
案例概况	业主单位：广州钢铁控股有限公司。 广钢集团白鹤洞生产基地于 1958 年建厂，企业经过 50 多年的建设成为一个拥有焦化、烧结、高炉、转炉、电炉、连续轧钢、高速线材、无缝钢管、发电等生产工艺的钢铁联合企业。主要产品有高速线材、螺纹钢、无缝钢管、氧、氮、氩气以及高炉煤气等。该地块受到了多环芳烃（PAHs）和重金属的复合污染，其中 PAHs 类污染物主要以苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、茚并[1,2,3-cd]芘等为主；重金属污染主要有 Pb、As、Cu、Zn 和 Ni 等。单纯 PAHs 污染土壤 1730m³，其余为重金属与 PAHs 复合污染土壤。整体污染深度较浅，最深至 5m。污染土壤处置后须达到商业开发用地要求。 对单纯 PAHs 污染土壤依次采用土壤淋洗→热脱附技术进行处理；对于复合污染土壤依次采用土壤淋洗→热脱附→固化稳定化技术进行处理。基于 863 研发课题“化工园区重大环境事故场地污染快速处理技术与装备”中的“高浓度污染土壤热分离技术与装备”，研发了间接热脱附设备，在本项目上完成中试和修复运行，成功处置多环芳烃污染土壤 1358m³。 2016 年 11 月，广州市环保局对该项目进行了环保验收。与会专家和代表踏勘了修复现场，审阅了验收报告及监理、监测、施工总结等材料，经充分讨论后一致认为，验收材料内容较为完整、数据翔实，结论可信，修复工程达到了预期的修复目标，同意通过项目环保验收。
工艺流程	工艺流程图如下：



	度区间（200~500℃），防止二噁英的产生；除水工序是对气体中含有的水进行吸收，达到去除气体中水分的目的。
主要工艺及设备参数	加热方式：夹套式间接螺旋热解；燃料类型：柴油/天然气；最大土壤粒径<5mm；土壤污染物浓度<10%；土壤含水率 30~35%；土壤处理温度范围 150~500℃；土壤处理能力 1~3t/h；燃料（天然气）消耗量：35~50Nm ³ /t；尾气产量：热解气 500Nm ³ /h，加热烟气 600Nm ³ /h；尾气含尘量 2~3%；运输、组装和调试周期：周期短；移动性：可移动；自动控制程度高。
应用效果	经处理后，土壤中有机污染物去除率达 99%以上，尾气排放满足《危险废物焚烧污染控制标准》（GB18484-2001）要求。修复前 PAHs 污染物浓度达数百 ppm，修复后污染物浓度小于 0.64mg/kg。
二次污染防治情况	装备应用过程中的潜在二次污染风险主要来源于两个方面，一是上料过程中 VOCs 的挥发和扬尘的产生，二是脱附尾气处理。实施过程中，污染土壤上料在密闭车间内进行，车间配套尾气处理系统，尾气经除尘和活性炭吸附后达标排放。另外，物料传输装置均装有密闭防护罩，以防止物料输送过程中气态污染物的扩散。尾气通过设备本身的尾气处理系统处理，高浓度有机废气经除尘、冷凝、除雾等过程处理达标排放。冷凝产生的废液也经处理后达标排放。
投资费用	设备拆除、运输、试运行费用 150 万元，设备基础建设费用 20 万元，设备折旧费 180 万元，合计 350 万元。
运行费用	水 3.5 元/t 土，电 20 元/t 土，燃料 725 元/t 土，机械 10 元/t 土，人工 2.5 元/t 土，合计 761 元/t 土。

申报单位：北京建工环境修复股份有限公司

联系人：刘鹏

联系电话：15210246545

传真：010-68096677

电子信箱：liupeng@bceer.com

案例三

案例名称	多环芳烃污染土壤热脱附处理示范工程
案例概况	业主单位：无锡市太湖湖泊治理股份有限公司 场地概况：污染场地原先主要从事钢材产品生产，场地表面 1m 左右为素填土，-1.0m~-7.2m 为粉质粘土。 污染特征：该地块主要污染物为各类多环芳烃（PAHs），高浓度污染土壤主要分布在表层，含大量建筑垃圾及石块。

	项目规模：1200m³（2000 t）。 实施周期：4 个月。 采用本技术装备的原因和优势条件：本套设备根据国内土壤的理化性质和污染特点等实际情况进行开发，具有较好的针对性。经过多次现场中试，研究了有机氯农药、PAHs、PCBs 等半挥发性有机物污染土壤的热脱附处理工艺，验证了设备的有效性和优良性能，并确定了最佳的处理工艺。 组织验收单位：无锡市太湖湖泊治理股份有限公司；验收时间：2017 年 2 月；验收结论：土壤 PAHs 污染物去除率达到 95%以上，达到修复目标。
工艺流程	污染土壤先经初步筛分和二次筛分预处理去除土壤中的石块、塑料垃圾等杂物，然后根据土壤性状，进行土壤 pH 值、湿度及粒径调节，达到进料要求。接着，将预处理后的污染土壤装入进料斗，通过进料单元，将土壤传送至加热炉体内。经高温热脱附处理后，土壤从出料口排出，脱附气采用喷淋-除雾-冷却-吸附多段式净化工艺处理，尾气喷淋产生的废水采用以氧化工艺为主的沉降-氧化-压滤-砂滤-活性炭吸附多段式工艺处理。
主要工艺及设备参数	土壤含水率<20%；土壤粒径大小<30mm；最大热脱附温度 550~600℃；停留时间 20~30min；加热形式：间接加热。
应用效果	处置后土壤 PAHs 总去除率达到 95%以上，部分样品 PAHs 浓度低于检出限。
二次污染防治情况	本设备在处置污染土壤过程中主要产生有机废气，废气处理系统由喷淋单元、除雾单元、冷却单元、吸附单元等组成的废气处理系统及由沉降单元、氧化单元、压滤分离单元和吸附单元等组成的废水处理系统组成。工程开展期间，经现场监测，本套设备尾气中多氯联苯、二噁英毒性污染指标，及烟气黑度、烟尘、二氧化硫、氯化氢、氟化氢、氮氧化物、一氧化碳、非甲烷总烃等烟气常规指标排放浓度均达到《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）或《危险废物焚烧污染控制标准》（GB18484-2001）等标准要求。
投资费用	约 1200 万元。
运行费用	直接运行成本约 600 元/t。

申报单位：中节能大地（杭州）环境修复有限公司

联系人：元妙新

联系电话：0571-28919722，15906819144

传真：0571-28919700

电子信箱：yuanmiaoxin@dadi-ep.com

案例四

案例名称	石油深度污染土壤热脱附修复项目
案例概况	业主单位：陕西邦达环保工程有限公司。 场地情况：本项目属于集中建站式土壤修复项目，站点名称为定边采油厂油泥土处理厂，修复的原料为长庆油田榆林片区石油开采、运输中造成的大量石油类深度污染土壤，污染土壤由于受原油污染石油类超标 1%~5%，土壤板结，含有大量具有致癌、致畸、致突变性的 PAHs 污染物，浓度在 20~400ppm。土壤热脱附修复规模为 2.8 万 t/年，常年处理周边各大采油厂石油深度污染土壤。 在项目建立合作前，中试设备到项目现场进行验证性试验，验证结果满足业主要求。 组织验收单位：陕西邦达环保工程有限公司；验收时间：2017 年 9 月 20 日；验收结论：1、设备性能考核成功，宜可欧土壤热脱附修复系统经性能试验，满足合同要求。具体如下：设备系统完成 7 天连续稳定运行考核。系统运行稳定，未出现故障和中断，满足要求；设备系统完成 72h 考核验收：修复规模满足 4.2t/h，满足规定要求。修复后土壤中 PAHs 污染物达到《土壤环境质量标准》（GB15618-2008）二级农业用地标准要求，废水、废气均达到国家及行业排放标准要求；2、宜可欧交付技术资料基本齐全、规范，符合合同书要求；验收组同意宜可欧热脱附设备系统验收合格。
工艺流程	工艺流程：热解脱附快速修复+三相分离及热能回收+烟气处理+水处理： 1、热脱附快速修复系统固相流程 石油深度污染土壤通过铲车送入热脱附系统中转料仓，然后由链接中转料仓的密封式皮带输送机送入热脱附系统双螺旋定量供给机。操作人员则根据原料成分利用定量供给机定量向热脱附修复设备反应炉体内输送污染土壤。在热脱附反应炉体内设置物料导流机构，及防挂胶自清结构使污染土壤在完成热传递的基础上实现从前端往后端移动，完成热脱附过程，然后经过热脱附修复土壤冷却输出装置冷却排出，从而完成石油污染土壤的修复过程。在热脱附反应过程中，根据土壤原料含有机污染物种类差异，控制反应温度大于 350℃，确保污染土壤能在较低成本实现有机污染物多环芳烃（PAHs）的脱除。在热脱附过程中产生的热脱附气体则经尾气处理系统处理。 2、热脱附快速修复系统热解脱附气相流程 在石油深度污染土壤热脱附修复过程中，PAHs 等有机污染物并没有得到降解而是转移至烟气中；其次部分大分子有机物发生了热解反应，导致热解脱附烟气中含有 CO、CH₄、C_xH_y 等成分，因此，热脱附气需进一步处理，本系统热脱附烟气处理主要流程为：三相分离+高温燃烧。热脱附炉内土壤修复过程产生的热脱附气主要由高温挥发性有机污染物、水蒸气、有机质热解气以及少量的焦油及粉尘组成。热脱附气首先进入固、液、气三相分离系统进行初级处理，通过喷淋

	洗涤的方式，将气体中粉尘及部分有机污染成分洗脱，洗脱后气体中还有较多不能被吸收的有机污染物以及有机质热分解产生的不凝气体组成的混合气，该混合气除了含有一些持久性有机物等有毒有害气体成分外还根据原料土壤有机质含量的不同而具有一定的热值，因此，系统对该气体采用高温无害化及热能回收处理，具体过程：将该部分气体通过气液分离器进一步脱除水分后，送入无害化及热能回收系统的热脱附气无害化区，实现高温无害化处理。处理后产生的高温烟气通过热能回收系统回收后作为热脱附系统热源实现热量的充分利用。 3、热脱附快速修复系统烟气相流程 烟气主要来自无害化及热能回收系统燃烧区天然气燃料燃烧烟气、无害化及热能回收区热脱附气高温分解区。这些烟气经过在无害化及热能回收装置内部充分混合后形成 700℃左右高温烟气，这部分高温烟气通入热脱附设备的外部烟气夹道，对污染土壤进行间接加热，作为土壤热脱附处理过程的热源。最终烟气经过与热脱附系统充分换热后温度降至 200~300℃，换热降温后的烟气进入“活性炭装置+半干式除尘器+喷淋洗涤塔”烟气处理系统净化后达到《危险废物焚烧污染控制标准》（GB18484-2001）要求，对于除尘器收集的烟尘（含活性炭）以及喷淋塔底定期清理出的少量底泥外运委托有危险废物经营许可证资质单位处置。 4、热脱附快速修复系统水相流程 三相分离系统循环冷却水，首先通过“絮凝沉淀+溶气气浮”初级水处理系统设备进行处理，处理后悬浮物 SS<100ppm，经水冷却系统降温后回用至三相分离系统，作为循环喷淋水使用。考虑土壤中含有的水分以及定期使用的更新水而造成外排水，系统增加“多孔介质、活性炭两级过滤+高级氧化+活性炭吸附+超滤”深度水处理系统对该部分水进行处理，经处理后该部分污水达到《污水综合排放标准》（GB 8978-2002）要求排放或作为加湿水回用。
主要工艺及设备参数	土壤修复量 100t/d；热脱附温度 150~700℃，连续控温；无害化及热能供应温度 900~1100℃；烟气排放温度<300℃；天然气消耗量<55Nm³/t；处理周期 20~120min 可调；处理方式连续式；气氛无氧；热脱附工作压力微负压。
应用效果	土壤 PAHs 污染物修复彻底，除菲含量在 47.3 μg/kg 以外，各项指标达到《土壤环境质量标准》（GB15618-2008）二级农业用地标准中的住宅用地修复目标要求。

二次污染防治情况	烟气排放控制：热脱附炉内土壤修复过程产生的热脱附气首先进入固、液、气三相分离系统进行初级处理，通过喷淋洗涤的方式，将气体中的粉尘及部分有机污染成分洗脱，洗脱后的气体采用高温无害化及热能回收处理，处理后产生的高温烟气通过热能回收系统回收后作为热脱附系统热源实现热量的充分利用。最终换热降温后的烟气进入“活性炭装置+半干式除尘器+喷淋洗涤塔”烟气处理系统净化后 SO ₂ 、氮氧化物、一氧化碳、烟尘、HCl、HF、格林曼黑度指标均达到《危险废物焚烧污染控制标准》（GB18484-2001）要求，废水排放符合《污水综合排放标准》（GB8978-2002）要求。对于除尘器收集的烟尘（含活性炭）以及喷淋塔底定期清理出的少量底泥外运委托有危险废物经营许可证资质单位处置。
投资费用	总投资 1300 万元，其中设备投资 1000 万元。
运行费用	吨土修复成本：电力 24.7 元，天然气 156.6 元，循环冷却水 5.1 元，药剂费：氢氧化钠 3.8 元、氧化剂 27.6 元，PAC 2.1 元，活性炭 35 元，人工费 30 元，维护费 50 元，管理费 60 元，设备折旧 80 元，合计 475 元。

申报单位：浙江宜可欧环保科技有限公司

联系人：赵维维

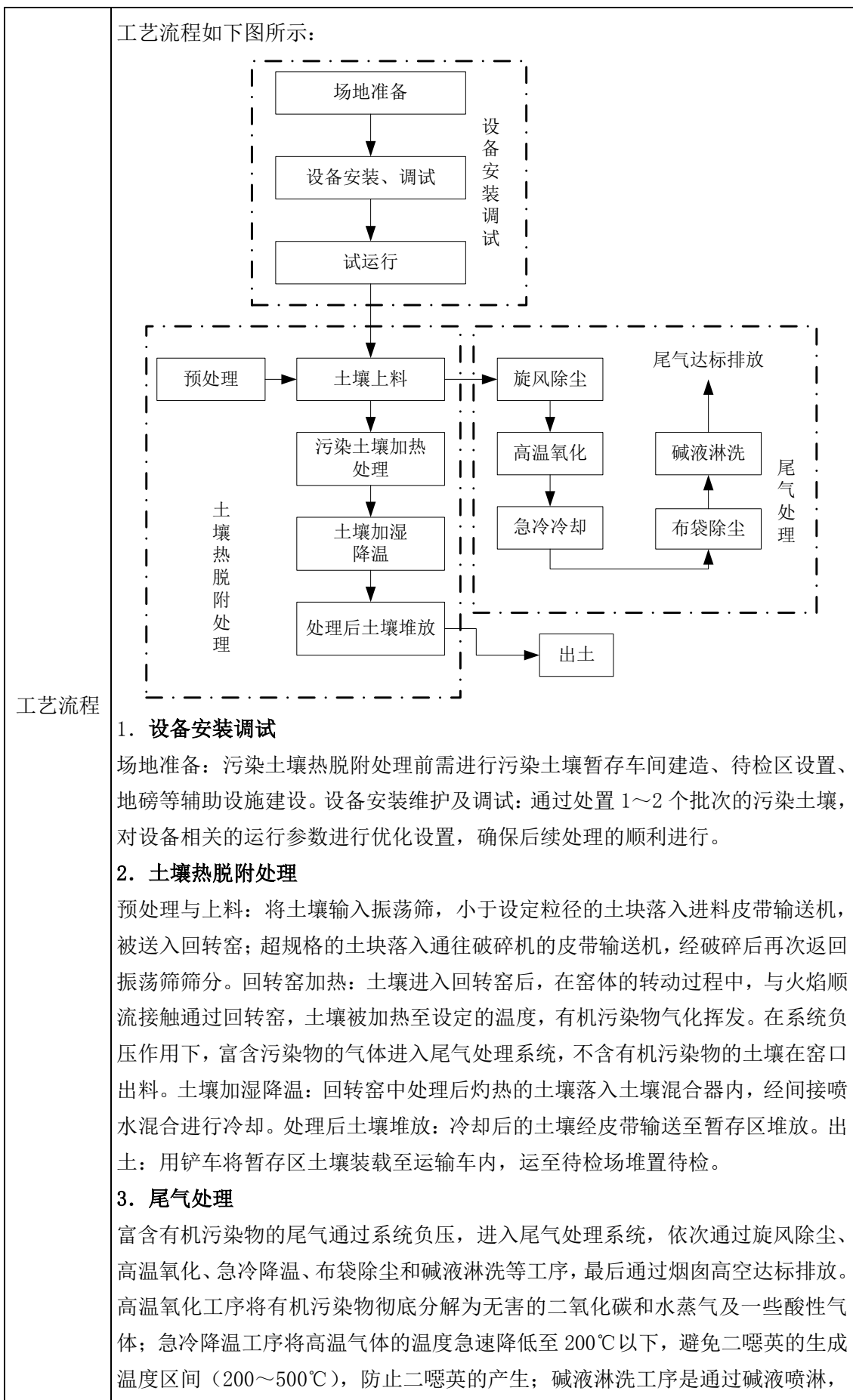
联系电话：18267253215

传真：0572-2299856

电子信箱：zhaoww@yikeou.com

2. 异位直接热脱附技术装备典型应用案例

案例名称	广州钢铁厂生产场地土壤修复项目
案例概况	业主单位：广州钢铁控股有限公司。 该厂于 1958 年建厂，2013 年 9 月全部停产，并开始搬迁。该地块土壤受重金属和多环芳烃（PAHs）污染，污染面积合计 157858m²，污染土壤方量合计 517591m³。2017 年 5 月完成修复工作，历时 4 年 2 个月。 由于该场地土壤受 PAHs 污染，且修复目标较为严格、工期较短，用化学氧化、生物修复等技术难以满足要求。采用热脱附技术设备可以在较短时间内将污染物彻底去除，并且可以满足修复后土壤原地回填使用的要求，避免了外运处置风险。 2016 年 11 月，广州市环保局对该项目进行了环保验收。与会专家和代表踏勘了现场，审阅了验收报告及监理、监测、施工总结等材料，经充分讨论后一致认为，验收材料内容较为完整、数据翔实，结论可信，修复工程达到了预期的修复目标，同意通过项目环保验收。



	把高温氧化阶段产生的酸性气体中和。
主要工艺及设备参数	回转窑转速 1~4rpm；回转窑进料粒径<50mm；窑内气体温度 150~500℃，根据目标污染物设定；窑内压力-4mm 水柱；旋风除尘器颗粒物通过粒径<6 μm；高温氧化室内气体温度 1200℃；氧化器气体停留时间 2s；急冷塔气体温度<200℃；布袋除尘器总过滤面积 1393.5m ² ；袋式除尘器通过粒径<1 μm；淋洗塔碱液浓度 20%；循环水 pH 值 5.5~7；烟囱排放气体温度 70~80℃。
应用效果	该项目有机污染以多环芳烃类污染物为主，多环芳烃总含量从 0.63~2027mg/kg 不等，经处理降低至 0.63mg/kg 以下。
二次污染防治情况	该装备应用过程中的二次污染主要包括两个方面，一是上料过程中污染物的挥发，二是脱附的富含污染物的尾气。在实施过程中，上料过程在密闭式车间内进行，车间配套尾气处理系统，尾气通过活性炭吸附后达标排放。尾气通过设备本身的尾气处理系统进行处理，高温氧化室可将各种污染物彻底降解为二氧化碳、水、氮氧化物等物质；降温过程中，经急冷冷却，避开二噁英生成温度区间；最终排放前进行碱液喷淋，防止酸性气体排放。经过一系列的二次污染防治措施，可以有效控制二次污染。
投资费用	设备拆除、运输、试运行费用 236 万元，设备基础建设费用 22 万元，耐火材料制作及安装费用 74.5 万元，设备折旧费 267.5 万元，合计 600 万元。
运行费用	水 3.5 元/t 土，电 18 元/t 土，燃料 780 元/t 土，机械 10 元/t 土，人工 2.5 元/t 土，合计 814 元/t 土。

申报单位：北京建工环境修复股份有限公司

联系人：刘鹏

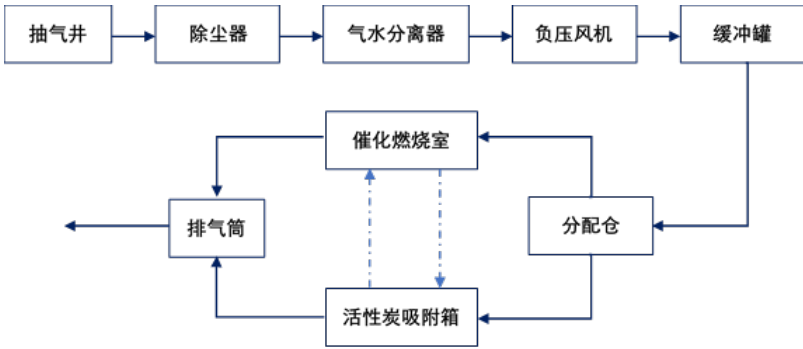
联系电话：15210246545

传真：010-68096677

电子信箱：liupeng@bceer.com

3. 原位气相抽提修复技术典型应用案例

案例名称	北京市丰台区槐房路 4#地块场地修复工程
案例概况	业主单位：北京市政路桥集团有限公司。 “北京市丰台区槐房路 4 号地块”位于北京市丰台区南四环外，西起槐房路，东至方仕工业园；北临集美家具仓库，南至桃苑公园，总面积 94051.24m²。原为北京路新大成沥青混凝土有限公司厂址，1979 年建成投产，2014 年初停产，主要生产各种型号沥青混合料，原辅材料包括沥青、重油、柴油、导热油、砂石料、矿粉、改性剂、乳化剂等，将作为居住用地开发建设。

	2015 年建设单位委托北京市勘察设计研究院有限公司对该地块进行了污染调查与风险评估工作。结果显示，该地块土壤、地下水受有机污染物污染，主要污染物为苯和$>C_{10}\sim C_{12}$脂肪烃。其中，土壤修复体积约为 36.2 万 m^3，地下水累计处理量为 72 万 m^3。经第三方风险评估确定的修复目标值为：土壤中苯 0.64mg/kg；地下水中苯 672mg/kg，$>C_{10}\sim C_{12}$脂肪烃 1247mg/kg。建设单位委托北京市勘察设计研究院有限公司和北京市市政四建设工程有限责任公司编制了《北京市丰台区槐房路 4 号地块污染场地修复实施方案》并通过专家评审。项目于 2016 年 4 月开始实施，至 2017 年 8 月完成，共计历时 16 个月。 验收单位：北京市环境保护科学研究院；验收时间：2017 年 8 月；验收结论：基于场地未来建设开发方案构建了场地概念模型，并进一步更有针对性地评估了场地土壤和地下水中残留污染物的未来小区居民的健康风险。结果显示，虽然按场地建设方案进行开发后，场地土壤和地下水中依然残留有部分关注污染物，但是，场地未来居民的健康影响在可接受风险水平。可见，通过采取实施相应的修复工程后，场地的健康风险得到了有效控制，可按当前建设方案进行开发建设。
工艺流程	1. 原位气相抽提：  (1) 针对受挥发性有机物污染的土壤，依据污染物浓度划分 3 组不同深度抽气井群。(2) 输气管道由各支管路和总输气管路组成，总管路上设置电动阀门，可以实现分层切换抽提和并行抽提。(3) 抽气系统为负压抽提组合装置，为整个系统装置的预处理装置，由气水分离器、负压风机和其他辅助设备组成。(4) 尾气处理装置是整套系统的核心部位，为处理挥发性有机污染物的主体装置，由缓冲箱体、空气冷却器、活性炭吸附箱、催化净化装置、脱附风机、主排风机、补冷风机、吸附管道、脱附管道、主排管道和其它辅助设备组成。尾气处理装置可以根据废气浓度自动控制。当进气浓度较低时，可单独进行活性炭吸附；当活性炭吸附接近饱和时，催化氧化后的高温气体自动进入吸附箱进行活性炭脱附，脱附的污染气体进入催化氧化装置处理；当进气浓度较高时，可以直接进入催化氧化装置进行处理。(5) 经尾气处理装置净化后尾气通过排气筒达标排放。 2. 地下水抽出-处理-回灌：

	抽出处理回灌系统通过各抽水井相连接的管道将地下水汇集起来，通过管道输送至地面水处理装置，首先进入隔油池，隔油池起到调节流量、隔油的目的，池内设计有撇油管，通过管道将浮油输送至储油池，隔油池内设置有 5 台气浮进水泵（4 用 1 备），将来水输送至 4 套气浮设备进行处理；气浮池布置于设备间内，共设 4 套，采用部分清液回流气浮系统，可有效去除水中的浮油及乳化油，并有一定去除有机污染物作用；处理完地下水通过管道输送至曝气池，曝气池内充填软性-半软性组合式填料，采用亲油性材料，通过微孔曝气，进一步去除水中污染物；处理后的地下水进入果壳过滤器；果壳过滤器共设 4 台，采用椰壳活性炭，进一步去除水中的油脂，经果壳过滤器后进入清水池，检测合格后再通过泵及管道输送到回灌井中，如不合格返回隔油池继续处理。
主要工艺及设备参数	1. 抽气井由抽气壁管、割缝管、尼龙网、管井填料等组成。主体材质：化工级 UPVC；直径：DN50；填料：膨润土、2~4mm 石英砂砾料；割缝管缝宽 0.25mm，缝间距 4mm，缝长 100mm。2. 抽气系统主要由负压风机、气水分离器、相关仪器仪表和自动控制终端组成。负压风机采用防爆变频风机，单台风量为 50m³/min、压力-30kPa，功率 55kW。3. 尾气处理装置由缓冲箱体、空气冷却器、活性炭吸附箱、催化净化装置、脱附风机、主排风机、补冷风机、吸附管道、脱附管道、主排管道和其它辅助设备组成。单套处理能力为 3000m³/h，预热温度 200~300℃，催化燃烧温度可达 480℃，启动总功率 72kW，纯吸附状态净化效率≥99%，催化燃烧状态净化效率≥97%。4. 调节/隔油池，池体尺寸 21.7m×11.5m×5m，有效水深 4.5m；气浮池为组合气浮成套设备，共设 4 套，采用部分清液回流气浮系统，保证出水油含量低于 10mg/L；曝气池分为 4 格，每格尺寸 10m×5m×5m，每格有效容积 200m³，采用气水比为 24:1；清水池尺寸 20m×5m×5m；储油池尺寸 10m×5m×5m；事故池尺寸 10m×5m×5m。5. 地下水处理系统中池体尾气处理系统设置 4 套，操作间尾气处理系统设置 2 套。主要包括离心式引风机、活性炭吸附箱和排放筒。
应用效果	该项目从 2016 年 9 月至 2017 年 4 月，历时 7 个月，进气 VOCs 浓度由 350ppm~470ppm 降至 100ppm~120ppm。土壤气检测结果显示，与修复工程实施前相比，场地土壤中苯浓度大幅降低，具体为：土壤中苯浓度检出的样品数由修复前的 105 个减少为修复后的 38 个，检出率由 26.5%降低至 5.9%；土壤中苯浓度由 1.36mg/kg 降至 0.13mg/kg，95 分位数由 6.32mg/kg 降至 0.10mg/kg，低于风险评估阶段所确定的修复目标值 0.64mg/kg；修复后场地土壤中苯浓度平均值的 95%置信上限由 2.70mg/kg 降至 0.34mg/kg，低于风险评估阶段所确定的修复

	目标值 0.64mg/kg，平均处理效率为 87.4%。地下水检测：地下水经气浮-曝气-果壳过滤器组合工艺处理后从 2016 年 8 月至 2017 年 9 月，进出水中苯的浓度由峰值 2.3mg/L 降至检测限以下；石油烃类由峰值 6.8mg/L 降至 1.4mg/L。苯最高检出浓度由修复前 21.1mg/L 降低为修复后的 1.64mg/L；平均浓度由修复前的 2.20mg/L 降低为 0.04mg/L；浓度中位数由修复前的 0.62mg/L 降低为 0.002mg/L；95%分位数由修复前的 3.96mg/L 降低为 0.19mg/L。石油烃最高检出浓度由修复前的 377.75mg/L 降低为 150.91mg/L；平均浓度由修复前的 47.94mg/L 降低为 5.53mg/L；中位数由修复前的 2.99mg/L 降低为 1.12mg/L；95%分位数由修复前的 96.89mg/L 降低为 27.66mg/L；平均值的 95%置信上限由 88.38mg/L 降低为 8.15mg/L。此外，从地下水修复系统停止运行后 6 个月内连续 12 次的检测结果可知，虽然在修复系统刚停止后场地内地下水中总石油烃（TPH）浓度出现反弹，直至 2017 年 2 月 8 日整体浓度一直出现上升现象，但自此之后，场地内地下水中 TPH 浓度一直呈下降趋势。
二次污染防治情况	（1）对建井过程中产生的泥浆建设了专用的泥浆坑，并用塑料膜对泥浆坑及其表面进行覆盖，防止污染的泥浆水渗出污染周边土壤。对泥浆中本场地特定的污染物进行及时检测，对污染物含量超过本场地土壤修复标准的土壤统一收集至废弃土处置场地，并用 HDPE 膜覆盖，其上设置抽提井并接入土壤气相抽提（SVE）气相抽提管网。（2）土壤修复系统中尾气处理设备填装有活性炭，在运行期间定期进行检测。当活性达到使用寿命后取出密封保存，并委托具有相应资质的第三方进行外运处理。SVE 气水分离系统在运行期间产生的废水输送至废水处理系统进行处理。（3）为了尽可能减少对环境的二次污染，本系统设备方面均选用低噪声设备，大功率设备均设有隔音罩，其主体处理系统可以建设厂房进一步隔音减噪。（4）由于本套系统针对挥发性有机物进行处理，所以多数情况下会有有毒有害气体（废气）产生。在运行阶段本套系统管网内部是负压状态，不存在泄露的可能，但是为做到万无一失，管道连接部分均做了强化密封处理，抽气井地表部分均做加盖密封。尾气处理系统设有在线监测报警系统和喷淋处理系统。
投资费用	土壤修复装备和地下水修复装备总投资为 8200 万元。
运行费用	土壤修复费用为 2.86 亿元，约为 790 元/m ³ 土；地下水修复费用为 1.76 亿元，约为 244 元/m ³ 水。

申报单位：北京市市政四建设工程有限责任公司

联系人：马晓春

联系电话：13522564040

电子信箱：36356468@qq.com

4. 多相抽提修复技术典型应用案例

案例名称	上海市徐汇区乔高 1、2、3、4 地块污染场地土壤和地下水修复工程（地下水修复部分）
案例概况	业主单位：上海徐汇土地储备有限公司。 上海市乔高 1、2、3、4 号地块位于徐汇区漕河泾新兴技术开发区，历史上为工业用地和居住用地，1、2、3 号地块分布一些工业企业，4 号地块为老式居民住宅所在区域，总面积为 128264m²。项目场地后续拟作为商务办公用地。 根据场地环境初步调查、详细调查以及风险评估，场地一共有 6 个地下水点位的污染物浓度超过了人体健康风险可接受水平需要修复，涉及 4 种污染物，包括氯代烃（氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、三氯乙烯）和总石油烃。 2016 年 11 月，委托上海格林曼环境技术有限公司（格林曼）编制了《上海市徐汇区乔高 1、2、3、4 地块污染场地土壤和地下水修复方案》。修复方案中确定，对氯代烃和总石油烃类有机污染地下水，采用多相抽提修复技术为主，另外结合原位化学氧化修复技术针对高浓度污染区域进行原位修复。该技术路线在可操作性、修复目标可达性以及修复时间等几个指标上满足修复工程要求，同时修复费用较低，并且二次污染和对施工和周边人员安全 and 健康影响较小。随后，业主通过公开招标程序确定该场地污染土壤和地下水修复工程的承担单位，格林曼中标该项工程，并于 2016 年 11 月 9 日至 2017 年 1 月 3 日开展了该项修复工程的实施工作。修复工程由上海环境保护有限公司进行全过程环境监理，由澳实分析检测（上海）有限公司对修复工程验收监测。 2016 年 11 月 13 日原位修复区域（W1-1 区域和 W1-2 区域）开始安装施工至 11 月 31 日结束运行，期间除部分运行调整外，多相抽提系统累计连续运行 33 天，总计抽出处理地下水约 3000m³，顺利完成了修复方案中设计的多相抽提修复工作内容。按验收监测结果，经过多相抽提处理后的原位修复区域所有地下水样品中的特征污染物监测浓度均已达到修复目标值，不需要进行后续的原位化学氧化修复处理。 2017 年 1 月 11 日，业主在上海组织召开了该工程的竣工验收专家评审会，专家组一致同意通过该工程的竣工验收。
工艺流程	对氯代烃有机污染土壤以及氯代烃和总石油烃类有机污染地下水，本场地采用多相抽提修复技术为主，另外结合原位化学氧化修复技术对高浓度污染区域进行原位修复。其中，多相抽提修复工艺路线如下图：

	地下水修复 W1-2 区域原位修复后的地下水验收监测结果(ug/L)					
	污染物	修复目标	样品数量	检出限	检测值范围	监测结果
	总石油烃	3230	3	20~100	未检出	达标
	地下水修复 W1-1 区域 YS-1 二次验收监测结果(ug/L)					
	监测指标	修复目标	样品数量	检出限	浓度范围	监测结果
	顺-1, 2-二氯乙烯	83	4	0. 5	2. 0	达标
	原位修复地面处理装置出水验收监测结果汇总见下表。					
	原位修复地面处理装置出水验收监测结果(mg/L)					
	监测指标	修复目标	样品数量	检出限	浓度范围	监测结果
	COD	500 *	10	5	12~56	达标
石油类	20 *	10	1	<1.00	达标	
悬浮物	400 *	10	1	113~204	达标	
pH	6~9 *	10	0.01 pH Unit	7.01~7.49	达标	
氯乙烯	24ug/L	10	5ug/L	<5ug/L	达标	
顺 1, 2-二氯乙烯	83ug/L	10	0.5ug/L	6.0~64.9ug/L	达标	
三氯乙烯	20ug/L	10	0.5ug/L	2.1~15.6ug/L	达标	
注：(1) *：上海市《污水排入城镇下水道水质标准》（DB31/445-2009）。						
按验收监测报告，本次土壤和地下水修复工程验收监测选取的所有土壤和地下水样品的特征污染物监测结果均低于修复方案中确定的修复目标值，表明原位修复区域的土壤和地下水、异位开挖基坑和修复后土壤中的污染物浓度均达到修复目标要求。同时，验收监测单位针对原位修复地面处理装置出水的取样监测结果也表明，经分离处理后的抽出地下水，满足纳管排放限值要求，不会造成二次污染。						
二次污染防治情况	（1）地下水修复二次污染防治：原位修复区域通过多相抽提抽出的气水混合物，经过地面处理装置进行处理，通过气水分离过程，将抽出地下水含有的挥发性有机污染物转移至分离的土壤气体中，经活性炭过滤后，土壤气体达标排放。经分离处理的地下水，通过提升泵转移至水箱中暂存，检测符合排放标准后纳管排放。修复施工初期（12月14日）和验收阶段（12月23日），验收单位澳实对场地内地面处理装置出水暂存水箱中的存水进行取样监测，监测因子分别为纳管排放标准（pH、COD_{Cr}、石油类），以及原位修复区域的特征污染物。另外，格林曼委托上海实朴检测技术服务有限公司于12月1日和12月12日对存水进行排放指标和特征污染物浓度的自检。所有监测结果表明暂存水箱中存水的特征污染物，满足纳管排放限值要求，施工期间可以排入市政排水管网，不会造成二次污染。 （2）大气二次污染防治：针对原位抽提过程中可能发生的挥发性气体扩散，					

	每日定时进行施工区域及周边区域环境空气 PID 快速检测。其中，除多相抽提系统尾气排放口检测读数为 0~10ppm 外，其他均为 0。符合达标排放要求。
投资费用	总投资 300 万元，其中设备投资 210 万元。
运行费用	运行费用 60 万元。

申报单位：上海市环境科学研究院/上海格林曼环境技术有限公司/环境保护部南京环境科学研究所

联系人：杨洁/张峰/龙涛

联系电话：021-64085119、13701931733/021-53210780、13817566541/025-8541611、15051899578

传真：021-54973318/021-53210790/025-85411611

电子信箱：yang.j@saes.sh.cn/sailor.zhang@greenment.net/longtao@nies.org

5. 类芬顿氧化法污染土壤修复技术典型应用案例

案例名称	长风生态商务区 10 号南地块土壤和地下水修复工程
案例概况	业主单位：上海长风投资发展有限公司。 项目地点：上海市普陀区，南起云岭东路，东至中江路，西邻泸定路。 项目规模：土壤修复方量约 3973m³、地下水修复方量约 549m³。 污染因子：土壤污染因子为苯并[b]荧蒽、茚并[1, 2, 3-c, d]芘、苯并[a]蒽、二苯并[a, h]蒽、苯并[a]芘；地下水污染因子为砷。 项目工期：48 天。 经业主、监理及环保局三方认可达标验收。
工艺流程	土壤污染区域围护及地下水抽提→污染土壤挖掘及转运→污染土壤前处理→污染土壤高级氧化→修复后土壤养护→地下水抽出→地下水处理
主要工艺及设备参数	挖机 4 台，小松 PC-200，抓斗容积 0.8m ³ ；日本一体式处理设备；韩国药剂喷洒设备；ALLU 斗 2 台；HDPE 膜(1.5mm) 4000m ² ；潜水泵(4m ³ /h) 20 台；防雨布(0.2mm) 4000m ² 。
应用效果	验收检测结果表明，土壤清挖后基坑底部和侧壁土样中目标污染物浓度低于制定的土壤风险控制值；挖掘土壤处理后，其目标污染物浓度低于制定的土壤风险控制值，可用于基坑回填；抽出污染地下水后，现场遗留地下水目标污染物的浓度低于制定的地下水风险控制值；抽出地下水经处理后达到上海市《污水排入城镇下水道水质标准》(DB31/445-2009)的要求，可纳入管道排放。
二次污染防治情况	分别从废水污染防治、废气污染防治、噪声污染防治、土壤二次污染防治、固体废物污染防治等方面做了二次污染防治，防治效果好。

投资费用	设备购置费约 2000 万元。
运行费用	5 万元/d，总运行费为 240 万元。

申报单位：上海化工研究院有限公司

联系人：赵诚

联系电话：021-52815377-1205（13916244589）

传真：021-52808504

电子信箱：shykjc@126.com

6. 污染土壤异位淋洗修复技术典型应用案例

案例名称	大化集团搬迁及周边改造（钻石湾）项目场地污染修复治理工程
案例概况	业主单位：远洋地产公司。 场地概况：该工程场地隶属于大连化工集团有限责任公司原厂区一部分，其主要下属企业或设施包括大化集团有限责任公司合成氨厂、大化集团大连化工股份有限公司、大化集团有限责任公司硝铵厂、大连油漆厂、大连铭源石油化工有限公司和大连京谷燃化有限公司、热电厂及油库等。2007 年大连市政府实施了对大化集团原厂区的搬迁工作。截至 2011 年底，大化集团原厂区搬迁工作已基本完成，场内建筑设施基本拆除。搬迁场地中部分区域规划为远洋地产钻石湾项目开发区域，钻石湾项目拟开发以住宅为主的商住小区，建筑类型包括多层、小高层、高层住宅及商业公建（公寓、公园等）。 场地污染特征：2011 年 12 月起大连新悦置业有限公司等七家房产公司（远洋房产）委托专业团队对该场地未动土尚处于用地规划阶段的区域开展场地详细调查与风险评价工作。经调查，场区内土壤污染物主要包括砷、铅、汞、萘、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、茚并[1,2,3-cd]芘、二苯并[a,h]蒽、苯和二甲苯等污染物。 项目规模：修复土方量 279291m³。 实施周期：12 个月 采用本技术装备的原因和优势条件：采用本套设备可有效的去除土壤中的多环芳烃类污染物和重金属；场地中砾石、粗砂组分较大，利用淋洗技术可快速有效的去除其表面的污染物；大化场地较多污染土壤粒径较大，重金属污染面积较大，使用该技术可有效降低修复成本。 该项目已经大连市环保局验收并完成备案。
工艺流程	工艺流程如下图所示：

	(1) 进料斗：污染土壤经进料斗上料，由传送带输送污染土壤。(2) 三级振动筛：将污染土壤按粒径大小筛分为三类，分别为粒径 10mm 以上的砾石、粒径 1mm～10mm 的粗砂、粒径 1mm 以下的细颗粒。(3) 滚筒洗石机：用于砾石的淋洗。(4) 螺旋洗砂机：用于清洗粗砂。(5) 板框压滤机：粒径小于 1mm 的细颗粒淋洗后形成的污泥经板框压滤机压滤脱水后形成泥饼。																																																		
主要工艺及设备参数	(1) 水土比：采用旋流器分级时，一般控制给料的土壤浓度在 10%左右；机械筛分根据土壤机械组成情况及筛分效率选择合适的水土比，一般为 5:1 到 10:1。 (2) 洗脱时间：物理分离的物料停留时间根据分级效果及处理设备的容量确定；一般为 20min 到 2h，延长洗脱时间有利于污染物去除，但同时也增加了处理成本，根据中试结果以及现场运行情况选择合适洗脱时间。 (3) 洗脱次数：当一次分级或增效洗脱不能达到既定土壤修复目标时，可采用多级连续洗脱或循环洗脱。 (4) 土壤淋洗设备系统在非满负荷情况下，平均处理效率为 20m³/h，每天工作 20h，日处理量 400m³。																																																		
应用效果	经淋洗设备处理后，土壤中污染物检测结果均达到验收标准。修复前后污染物浓度对比（浓度单位：mg/kg）见下表： <table><tr><th>序号</th><th>污染物</th><th>初始浓度</th><th>修复目标浓度</th><th>修复后浓度</th></tr><tr><td>1</td><td>砷</td><td>200-10400</td><td>80.0</td><td>1.916</td></tr><tr><td>2</td><td>汞</td><td>11.6-84.3</td><td>10.0</td><td>0.291</td></tr><tr><td>3</td><td>苯</td><td>120-15600</td><td>50.0</td><td>0.005</td></tr><tr><td>4</td><td>苯并[a]蒽</td><td>32-1420</td><td>6.4</td><td>0.043</td></tr><tr><td>5</td><td>苯并[b]荧蒽</td><td>20-1420</td><td>6.4</td><td>0.079</td></tr><tr><td>6</td><td>苯并[k]荧蒽</td><td>200-621</td><td>64.2</td><td>0.038</td></tr><tr><td>7</td><td>苯并[a]芘</td><td>35-1420</td><td>2.0</td><td>0.085</td></tr><tr><td>8</td><td>茚并[1,2,3-cd]芘</td><td>42-790</td><td>6.4</td><td>0.038</td></tr><tr><td>9</td><td>二苯并[a,h]蒽</td><td>13-154</td><td>2.0</td><td>0.012</td></tr></table>	序号	污染物	初始浓度	修复目标浓度	修复后浓度	1	砷	200-10400	80.0	1.916	2	汞	11.6-84.3	10.0	0.291	3	苯	120-15600	50.0	0.005	4	苯并[a]蒽	32-1420	6.4	0.043	5	苯并[b]荧蒽	20-1420	6.4	0.079	6	苯并[k]荧蒽	200-621	64.2	0.038	7	苯并[a]芘	35-1420	2.0	0.085	8	茚并[1,2,3-cd]芘	42-790	6.4	0.038	9	二苯并[a,h]蒽	13-154	2.0	0.012
序号	污染物	初始浓度	修复目标浓度	修复后浓度																																															
1	砷	200-10400	80.0	1.916																																															
2	汞	11.6-84.3	10.0	0.291																																															
3	苯	120-15600	50.0	0.005																																															
4	苯并[a]蒽	32-1420	6.4	0.043																																															
5	苯并[b]荧蒽	20-1420	6.4	0.079																																															
6	苯并[k]荧蒽	200-621	64.2	0.038																																															
7	苯并[a]芘	35-1420	2.0	0.085																																															
8	茚并[1,2,3-cd]芘	42-790	6.4	0.038																																															
9	二苯并[a,h]蒽	13-154	2.0	0.012																																															
二次污染防治情况	本设备二次污染主要来源于淋洗用水，淋洗后废水中可能存在污染物，后端配备污水处理系统处理后废水经检测合格后全部回用于淋洗设备淋洗处理系统。																																																		

投资费用	设备投资费用约 1850 万元。
运行费用	本项目土壤主要以砂性土为主，土壤综合处理成本约为 650 元/m ³ 。设备运行成本约为 200~300 元/m ³ 土，设备费用约 100~150 元/m ³ 土，水电费约 50~100 元/m ³ 土，人工费约 50 元/m ³ 土；主要物耗为废水处理药剂、絮凝剂等，成本约为 200~300 元/m ³ 土，其他费用约 50 元/m ³ 土。

申报单位：北京建工环境修复股份有限公司

联系人：刘鹏

联系电话：15210246545

传真：010-68096677

电子信箱：liupeng@bceer.com

7. 基于天然矿物混合材料的重金属污染场地稳定化技术典型应用案例

案例名称	江苏鸿尔有色金属合金实业有限公司退役场地铜污染土壤修复工程
案例概况	业主单位：靖江市国土资源局。 江苏鸿尔有色金属合金实业有限公司主要经营铜及铜合金加工制品，于 2012 年前后整体搬迁，搬迁后场地规划为住宅用地。2016 年环境保护部南京环境科学研究所对该场地进行了调查与风险评估，该场地土壤主要污染物为重金属铜。 该项目采用天然矿物稳定化修复技术对重金属铜超标土壤 1600m³进行修复，修复目标为铜浸出浓度满足《地下水环境质量标准》(GB/T 14848-93) IV 类标准 (Cu<1.5mg/L)。 实施周期 45 天。 2017 年 5 月 10 日，靖江市国土资源局在靖江市组织召开了“江苏鸿尔有色金属合金实业有限公司退役场地污染土壤修复工程竣工验收”专家评审会。评审意见如下：所有异位修复区块的基坑侧壁及底部均清理修复达到修复目标要求，处理后土壤中目标污染物浓度均达到修复目标要求，同意修复项目通过验收。
工艺流程	污染土壤调查：对重金属铜污染土壤进行采样检测，确定土壤污染程度。修复设计：根据土壤中铜含量及浸出浓度，经实验室小试和中试工程，确定针对铜污染修复的稳定化材料配比和添加量。修复实施：使用从日本引进的自走式土壤修复专用设备，计算机控制材料添加量，三阶段破碎混合，确保材料与污染土壤充分定量混匀。管理与评估：修复后在土壤含水率 25%条件下自然养护 7 天。养护完成后每 200m³土壤采样自检确定是否已达到修复目标。如未达标，重新返回修复。
主要工艺及设备参数	稳定化材料的添加比例为 5%（按污染土壤质量确定）；修复后土壤在含水率 25%条件下自然养护 5-7 天；自走式土壤修复专用设备处理能力 40~150m ³ /h，修复材料供给量 0.9~15m ³ /h，修复材料供给量调整范围 9~400kg/m ³ ，混合方式刀盘切削+3 轴大型旋转锤+末端切削，行走速度 3.2km/h，吊臂能力 2.63t/1.6m。
应用效果	土壤经修复后铜浸出浓度<1mg/L，低于修复目标值，满足《地下水环境质量标准》

	准》(GB/T 14848-93) IV 类标准 (Cu<1.5mg/L)。
二次污染防治情况	本技术使用的修复材料基于天然矿物制备, 材料本身重金属等含量不超过国家相关标准, 不会产生二次污染。在修复施工过程中, 由于材料是粉末状, 在设备封闭状态下与土壤混合, 不造成粉尘污染。对于土壤清挖、运输过程中可能产生的扬尘污染, 采取洒水、覆盖等措施控制。施工过程中产生的少量废水统一收集后与待修复土壤混合一并处理。对于车辆、设备可能存在的噪音污染, 采取降噪装置, 设置临时声障等。
投资费用	58 万元。
运行费用	37 万元。

申报单位: 上海圣珑环境修复技术有限公司

联系人: 陈胜添

联系电话: 18817595199

传真: 021-54193582

电子信箱: 18817595199@126.com

8. 基于生物质灰复合材料治理土壤重金属污染的钝化/稳定化技术典型应用案例

案例名称	江西贵溪冶炼厂周边区域重金属污染综合治理
案例概况	业主单位: 江西省贵溪市环境保护局。 贵溪冶炼厂历史生产过程中产生的“三废”造成周边部分农田和岗地土壤中镉、铜、铅等重金属超过国家土壤环境质量标准, 存在重度、中度和轻度等不同程度的土壤重金属污染, 其中重度污染达到 50%以上。 项目规模: 2000 亩。 实施周期: 3 年。 本项目利用高效钝化土壤重金属材料产品, 恢复重度污染区植被、减轻中轻度污染区作物中重金属积累, 满足污染农田安全利用的要求。 2015 年 11 月通过贵溪市环境保护局验收。
工艺流程	集成轻度、中度、重度重金属 (Cu 和 Cd) 污染土壤钝化/稳定化-植物联合修复技术。建立具有针对性的土壤调理-植物-农艺管理的综合修复技术体系。 重度污染区: 采用土壤重金属钝化调理材料+镉铜超积累/耐性能源植物+优化农艺生态技术; 中度污染区: 采用土壤重金属钝化调理材料+耐性植物/其他经济类植物+灌溉施肥等农艺技术。轻度污染区: 采用土壤重金属钝化调理材料+水稻/其他经济作物+生态农艺技术。主要工艺流程: 施撒土壤重金属钝化调理材料-翻耕-清水平衡-整地-植物/作物种植-农艺管理。 1. 制造工艺: 采用生物质灰改性, 配伍碱性材料、含磷矿物、有机肥等, 合成后经过造粒等工艺, 制造出便于施撒的 1~3mm 颗粒状产品。 2. 施用工艺: 1) 土壤检测, 分析确定土壤重金属污染程度。2) 确定用量, 依据土壤污染程度和修复治理目标确定施用量。3) 施用方法, 作物播种或移栽前基施, 将产品人工或机械均匀撒施于土壤表层后翻耕。4) 清水平衡, 产品施

	后用清洁灌溉水平衡熟化 4~7d 后即可正常农事操作。5) 每 2~3 年施用 1 次。
主要工艺及设备参数	重度污染区亩施用量 500kg；中度污染区亩施用量 300~500kg；轻度污染区亩施用量 100~300kg。勿将本产品与化学氮肥同时混合使用；存放时防水防潮。
应用效果	应用于镉铜污染酸性土壤后，土壤中有效态镉降低 51~75%，有效态铜降低 52~95%。重度污染土地从寸草不生到可以种植具经济价值的生物质能源植物等，生态效益显著；中度污染区土地生态恢复良好，种植的巨菌草等能源植物与花卉苗木亩增年产值 1100~4000 元，生态和经济效益明显；轻度污染区水稻单产提高 20~33%，糙米中镉平均含量下降 47%以上。
二次污染防治情况	原材料本身污染物含量不超过土壤调理剂标准要求；材料包装袋由专人收集后统一回收处理；施撒过程佩戴口罩和手套；不产生粉尘。无其他二次污染风险。
投资费用	修复材料纯生产成本为 1989.37 元/t，治理轻度污染区耕地时修复材料成本为 596.8 元/亩。
运行费用	运行和维护成本：租赁费 500 元/d，人工/机械施撒成本 100 元/亩。

申报单位：江西洁地环境治理生态科技有限公司

联系人：祝振球

联系电话：15507018575，15951810025

传真：0701-6653889

电子信箱：zzq01424@163.com

9. 水田土壤镉生物有效态钝化/稳定化技术典型应用案例

案例名称	湖南省镉污染稻田土壤修复产品/叶面阻控剂效果展示项目
案例概况	业主单位：湖南省农业资源与环境保护管理站。 示范区位于长沙县北山镇融合桥社区农田，土壤全镉含量 0.52、1.26 和 0.63mg/kg，土壤 pH 值 5.17、5.56 和 5.57，土壤有效态镉含量 0.30、0.19 和 0.15mg/kg。 验收单位：湖南省农业资源与环境保护管理站；验收时间：2016 年 12 月 30 日；验收结论：应用 1 号产品早晚稻米镉含量分别降低 29.24%和 28.41%；应用 2 号产品早晚稻米镉含量分别降低 36.42%和 38.74%。
工艺流程	用“S 型”五点法采集案例区耕地土壤样品，分析 pH 值、全镉（Cd）、有效镉（Cd）等理化性质。检测结果显示，土壤全镉含量 0.6~1.4mg/kg，土壤 pH 值 4.6~5.8，稻米镉含量 0.3~1.0mg/kg。根据稻田土壤污染平均情况确定单位面积耕地需施加的 2 号产品用量为 200kg/亩。在水稻播种或移栽前 7d，采用人工撒施，保证物资落地率。利用旋耕机搅拌将调理剂与土壤混匀。放水平衡熟化 5~10d。

主要工艺及设备参数	调理剂技术参数：有效 CaO 含量 $\geq 18\%$ ，有效 SiO ₂ 含量 $\geq 0.1\%$ ，其他有效成分（氧化镁+三氧化二铁+氧化锰等） $\geq 1\%$ ，pH 值 ≥ 8 ，细度（粒径 $\leq 0.25\text{mm}$ ） $\geq 85\%$ ，水分 $\leq 2\%$ ，汞（Hg）含量 $\leq 2\text{mg/kg}$ ，砷（As）含量 $\leq 10\text{mg/kg}$ ，镉（Cd）含量 $\leq 2\text{mg/kg}$ ，铅（Pb）含量 $\leq 50\text{mg/kg}$ ，铬（Cr）含量 $\leq 50\text{mg/kg}$ 。调理剂施用注意事项：勿将产品与其他肥料混合使用；存放做好防水防潮，保证干燥；产品为粉剂性状，撒施注意风向，保证均匀；由于产品呈碱性，撒施过程中请做好防护措施。
应用效果	1 号产品应用后，早稻无明显增产、晚稻增产 7.69%，早晚稻米镉含量分别降低 29.24%和 28.41%；2 号产品应用后，早稻无明显增产，晚稻增产 5.27%，早稻米镉含量分别降低 36.42%和 38.74%。
二次污染防治情况	严格控制原材料本身污染物含量不超过土壤调理剂质量标准要求，监管生产工艺流程。检测了调理剂中镉、铅、砷、铬和汞的含量，均符合湖南省关于土壤钝化材料的技术要求，无二次污染风险。调理剂包装袋由专人收集后统一回收处理。
投资费用	药剂成本 400 元/亩。
运行费用	撒施成本 50 元/亩，土壤和农产品检测费用 80 元/亩。

申报单位：湖南隆平高科耕地修复技术有限公司

联系人：肖钟毓

联系电话：13975100386

传真：0731-82568839

电子信箱：303795726@qq.com

10. 砷污染土壤蜈蚣草修复技术典型应用案例

案例名称	广西环江重金属污染农田修复工程
案例概况	业主单位：环江毛南族自治县农业局。 场地概况：2001 年，广西环江县因洪水冲击引发尾矿库垮坝事故，使下游近万亩农田受到严重污染，造成了极大的社会影响。 污染特征：调查结果显示，农田土壤主要是受砷、铅、锌、镉、铜等重金属污染。砷、铅和锌主要集中分布在土壤表层 0-30cm 范围。多金属污染的同时，农田还存在含硫尾矿的酸污染问题，pH 值最低为 2.5。 项目规模：1280 亩。 实施周期：2 年。 选用技术成本低；操作简单；环境友好、无二次污染；能够大面积应用。 验收单位：河池市环境保护局。验收时间：2013 年。验收结论：广西环江大环江流域土壤重金属污染治理项目基本上能按照原实施方案进行施工建设及修复治理，基本落实了环境影响报告表及我局批复中的各项污染防治要求，但

	土壤重金属污染治理是一项长期的、复杂的、系统性的工程，其修复技术还不成熟。鉴于经过 2 年的治理，核心示范区及推广区土壤中的重金属含量总体呈下降趋势，基本起到了示范作用，土壤重金属治理效果得到初步的呈现，我局同意验收组意见，同意该项目通过竣工环境保护验收。
工艺流程	调查土壤重金属污染程度和污染物的空间分布，分析植物修复技术的可行性；进行蜈蚣草快速繁育；移栽蜈蚣草幼苗；利用植物萃取、采用超富集植物并与经济作物间套作等技术；用田间辅助措施提高蜈蚣草对土壤中重金属的去除能力；评价植物修复效率，并评估污染土壤再利用的安全性；对收获的蜈蚣草进行焚烧处理，焚烧灰渣填埋处置。
主要工艺及设备参数	蜈蚣草砷富集系数 10~100，迁移系数 5:1。种苗参数高 15cm；种植模式单作和间作；种植密度 30 cm×30cm；收割次数 2-3 次；留茬高度 5cm。焚烧炉炉体型式：卧式链条炉排；点火方式：自动点火；辅助燃料：柴油；设备处理量 60kg/h；一燃室温度 750℃-850℃、二燃室温度 950℃-1200℃；出口烟气含氧量（干烟气）6%-10%；停留时间≥3s；焚烧炉体表面温度≤35℃；炉膛负压值-3pa~-10pa；焚烧残渣的热灼率≤5%；年运转时间>2800h；使用寿命 10 年。
应用效果	经两年修复，土壤 pH 值由修复前的 2-3 升高至 5-6，有效抑制了硫铁矿返酸状况；利用植物萃取技术每年从土壤中去掉的镉、砷分别达到 10.5%和 28.6%；玉米、水稻、甘蔗平均亩产量分别增加 154%、29.6%、105%；玉米籽粒中砷、铅、镉和锌的含量分别下降 39%、4.9%、4.1%和 0.5%，农产品重金属含量的合格率大于 95%；同时，实现了重金属超富集植物收获物的焚烧和蚕粪的安全利用。项目的实施，仅种桑养蚕一项，农民增收 627 万元，受益人口超过 5600 人。
二次污染防治情况	蜈蚣草焚烧处理产生的烟气和灰渣中含有砷；烟气中砷的含量是 0.17mg/m ³ ，灰渣中砷及其化合物占灰渣总质量的 0.15~0.76%。烟气采用“急冷+湿法除尘+布袋除尘”装置处理，烟气中砷的浓度 0.027mg/m ³ ，达到国家排放标准；灰渣中含有高浓度的砷，按照危险废物进行填埋处置。
投资费用	一般为 3-5 万元/亩。
运行费用	除草：480 元/亩/次；移栽：800 元/亩（包括平整土地、打梗、划线等）；收割：600 元/亩（收割+搬运），北方地区冬季需要保温，另有根部培土、覆膜人工费用 300 元/亩；浇地：人工费 80 元/亩/次，电费 37 元/亩；焚烧设备：处理量为 100 kg/h，一套设备约 100 万，运行费用（电费+人工费）60-70 元/h，维护费约 1.5 万元/年。

申报单位：北京瑞美德环境修复有限公司

联系人：刘冰冰

联系电话：010-82028401，18811053818

传真：010-82022621

电子信箱：liubb@ruimeide.com

11. 土壤与修复药剂自动混合一体化设备典型应用案例

案例一

案例名称	邵阳市“洋溪沟、龙须沟”两沟环境污染综合治理工程
案例概况	业主单位：湖南创域实业有限公司。 项目场地概况：洋溪沟、龙须沟原为当地农灌、雨水和溪水沟，由于历史原因，两条沟渠成了龙须塘区域众多工业企业（曾有 60 多家企业）的排污沟，目前洋溪沟、龙须沟水体、底泥污染严重，水体为劣 V 类，水体和底泥均出现 $\text{NH}_3\text{-N}$、COD 以及 As、Cr、Cd、Cu、Zn 等重金属污染物以及酚类、多环芳烃、挥发性有机物等有机污染物。 污染特征：沟底泥重金属超过 GB 15618-1995 三级标准，主要污染因子有：Pb、Cd、Cr、Cu、Zn。6 个底泥样品中有 2 个样品出现 Pb 超标，其中化纤厂边界底泥中 Pb 为 3399.4mg/kg，超出 GB 15618-1995 三级标准 5.8 倍，支流汇合处及海纳兴业化工下游底泥分别出现 Cr 和 Cu 超标。除龙须沟源头处底泥以外，其他底泥中均出现 Zn 和 Cd 超标，且最大超标倍数都出现在龙须沟终点处，最大超标倍数分别为 2.3 倍和 8.5 倍。 项目规模：对邵阳市双清区龙须塘区域龙须沟及洋溪沟约 11.22km 河段进行环境综合整治，其中共 11.79 万 m^3 底泥治理工程，包括底泥干化、稳定化（有机、重金属污染底泥），无害化处理后运送至邵阳市生活垃圾填埋场填埋处置。 实施周期：210 天。 采用本装备的原因和优势条件：土壤修复一体化处理设备在功能集成、混合均匀性、效率、自动化水平和环保方面有突出优势：①设备集成度高：污染土壤破碎、筛分、计量、混合、出料、养护加水全过程集成；②处理能力强、成本低：每小时处理能力可达 $80\sim 120\text{m}^3$；③处理效果好：一次处理合格率 100%，无返工现象。微机自动配料，计量精准，破碎筛分后土壤粒径 $\leq 30\text{mm}$，双轴卧式土壤专用搅拌机搅拌均匀，变异系数 $\leq 5\%$，通过调整反应时间、土壤湿度，确保反应充分、彻底与稳定化效果；④自动化程度高：智能化控制，主控界面采用智能化动态 3D 显示，并根据客户需求可实现设备远程监控。根据土壤污染物及污染程度的不同，能自动调节处理工艺，实现污染土壤修复的全过程控制；⑤可追溯性好：施工数据（如日处理量、药剂添加量）可实时存储、显示和打印，便于过程管控和数据追查；⑥环保：密封的管式螺旋输送机配药，避免扬尘及二次污染。
工艺流程	根据场地污染空间分布信息进行测量放线之后开始土壤挖掘，挖掘后的污染土壤运至处理车间暂存区域，然后通过装载设备将土壤装载至破碎筛分系统进行土壤杂质筛分和土壤破碎。筛分、破碎后的土壤经土壤输送系统运输至自动计量系统实时自动计量，同时根据该计量结果，药剂输送系统从药剂存储系统添加一定比例的药剂至药剂计量模块，计量完成后自动落入搅拌混合系统充分搅拌和混合，在该过程中，同时自动进行下一批待处理土壤的输送和计量。混合后的土壤由出料输送系统输送至临时堆放区域。在出料输送系统末端设计有自动加水单元，对混合后土壤根据设计比例喷洒一定量的水，然后由装载设备转场至养护区域进行堆放养护。最后将养护完毕的土壤进行回填或填埋场填埋处

	置。
主要工艺及设备参数	产能 80~120m ³ /h；搅拌主机最大容量 2.25m ³ ；生产模式：自动和手动；一次处理合格率 100%；混合均匀性变异系数≤5%；土壤称量误差±1%；药剂称量误差±1%；筛分系统后，下料粒径≤30mm；装机容量 170kW。
应用效果	进入混合反应工序的土壤粒径在 28mm 以下，保证土壤和修复药剂的充分混合、反应。称重传感器精度高、温漂小、抗干扰能力强，土壤和药剂计量精度分别为 0.9%和 0.8%。设备生产效率高，按连续工作 3h、处理污染土壤 357t（密度约为 1.4t/m ³ ）计，每小时处理能力 85m ³ /h。土壤和药剂混合充分均匀，实测处理后土壤中药剂含量的变异系数为 4.17%。一次性处理后，各批次抽样结果显示土壤污染物浸出值为铅 0.1mg/L、镉 0.005mg/L、砷 0.0001mg/L，达到修复目标。
二次污染防治情况	该装备在应用过程中可能产生的二次污染物为粉尘排放。主要的粉尘控制措施有：①药剂输送模块采用全程封闭式结构；②在粉尘量大的位置进行喷雾除尘；③药剂计量斗的排尘口接入土壤计量斗。
投资费用	土壤修复一体化处理设备，生产成本每台套约 180 万元，考虑安装、运输、调试、财务和管理等费用后，应用成本约 250 万元。
运行费用	土壤修复一体化处理设备资源配备情况如下：ZL30F 装载机 1 台，3t 叉车 1 台，操作和维护人员 3 个。设备平均使用功率约 130kW 左右。根据上述数据计算得每方污染土壤修复的设备运行和维护成本在 10 元左右。

申报单位：湖南永清机械制造有限公司

联系人：陈婷

联系电话：15387563707

传真：0731-83283033

电子信箱：ting.chen@yonker.com.cn

案例二

案例名称	上海桃浦科技智慧城核心区场地污染土壤与地下水修复工程【654地块】 (英雄白金制笔、热力二号)项目
案例概况	业主单位：上海桃浦智创城开发建设有限公司。 土壤污染物有铜、氯乙烯、1,2-二氯乙烯、三氯乙烯、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘，污染土修复方量约106737 m³，其中重金属铜污染土壤修复方量约为400m³，修复前检出浓度范围为 2186~2220mg/kg。 修复时间为2016年9月至2017年4月。 由于本场地土质以粉质粘土和淤泥质粘土为主，采用异位常温解吸/化学氧化/深度稳定化工艺进行修复。 上海市桃浦科技智慧城开发建设有限公司于2017年4月18日组织召开了专家评审会并通过验收。

工艺流程	挖掘污染土壤；待处理土壤由铲运机送入进料仓；进料仓底部为进料传送带，采用皮带输送方式将土壤向前输送，进料仓出口处设有均料辊，负责将土壤摊匀，使传送带上土壤厚度维持在200mm。传送带下设置有计量装置，对所输送的土壤进行相对计量，控制器将计量结果和进料传送带速率传送到加药仓的控制器。加药仓根据控制器所提供的参数，来控制加药仓底部的螺旋加药机的转速，从而控制加药量，并将药剂添加至传送带上；添加好药剂后的土壤，通过传送带进入混合搅拌装置，完成土壤的进一步破碎、混合、搅拌；土壤破碎混合完毕后，进入出料传输带上，喷淋装置向出料传送带上的土壤喷撒液体药剂，最后进入二次搅拌装置，进一步促进药剂与土壤的反应。
主要工艺及设备参数	料仓入口高度2800mm；设备宽度2500mm；设备最大高度4200mm；出料辊筒中心距地面高度2782mm（可调）；设备最大长度17578mm；底盘高度1500mm；土壤处理能力不低于20m ³ /h；实现集约轻量化设计，设备行走速度不低于2km/h。
应用效果	平均处理能力达到55m ³ /h；采用异位常温解吸/化学氧化/深度稳定化工艺，利用本设备混合药剂效果良好，土壤稳氧化定化效果良好，土壤中各污染物达到修复目标值（铜浸出浓度1.5mg/L）。
二次污染防治情况	与其他处理设备相比，本设备用电力驱动，没有发动机尾气产生；在膜结构大棚中作业，对氯乙烯等挥发性有机污染物进行集中收集处理,还可以有效控制扬尘等二次污染。
投资费用	168万元。
运行费用	86元/m ³ 。

申报单位：上海环境卫生工程设计院有限公司

联系人：齐晓宝

联系电话：18801771246

传真：021-64150149

电子信箱：905204516@qq.com

案例三

案例名称	小南化南部地块土壤修复工程
案例概况	业主单位：南京市燕子矶片区整治开发有限责任公司。 场地概况：南京小南化南部地块土壤修复工程位于南京市栖霞区和燕路560号（原南京化工厂厂区内），北临长江。原南京化工厂已停产搬迁，化工生产历史长达60年。 污染特征：主要以苯、氯苯、二氯苯等有机污染物为主，其中氯苯及二氯苯的最高检出浓度分别为4870mg/kg和1760mg/kg。 项目规模：修复面积24494m²，治理污染土壤86253m³。

	实施周期：150天。 采用本技术装备的原因和优势条件：小南化地块属于黏性土壤，常规破碎机对黏土的破碎能力有限，而土壤修复一体机能够实现破碎后粒径90%在2cm以下，一可以充分与修复药剂混合，实现完全反应；二可以精准投加药剂，从而节省药剂费。 组织验收单位：南京市环境保护局、南京市江南小化工集中整治工作现场指挥部。验收时间：2015年4月。验收结论：本项目验收材料齐全、依据充分、程序规范，符合已评审通过的工程实施方案和验收方案等要求，达到了小南化地块（北部、南部）土壤修复工程施工招标文件和合同的约定，同意修复工程通过竣工验收。
工艺流程	通过一体化土壤破碎混合设备，在微负压大棚内原址异位实现将发热剂与土壤快速均匀混合，并利用化学反应放热实现土壤加热，加速污染物从土壤解吸至空气中，经大棚两侧的废气设备对棚内废气进行收集处理，处理后废气通过实时监测装置监测确保达标排放，最终实现土壤中污染物的去除。
主要工艺及设备参数	进料量 50-150m ³ /h；进料仓 1.4m ³ ；进料带宽 600mm；物料通过能力≤200mm；药仓 3.0m ³ ；加药量 6-300kg/m ³ ；出料带 900×19460mm；最大行走速度 3.2km/h；爬坡力 25°；起吊力 2.63t/1.6m, 1.05t/3.5m；起吊高度 2.79-6.60m。
应用效果	验收单位进行原址异位修复土壤采样（共 170 个样）、原位修复区域土壤采样（共 55 个样）、修复区域地下水取样（共 10 个样）、回填土土壤采样（共 190 个样品），合格率为 84.1%。原位修复区域土壤存在 2 个点位（共计 3 个样品）超标（单一污染因子 1，4-二氯苯超标），合格率为 94.5%。对超标土样进行补充修复后，超标点位合格率为 98.2%。
二次污染防治情况	对场地内进出车辆进行冲洗，对堆土进行防尘网遮盖，同时在土壤裸露区域撒上草籽，以控制扬尘。施工期间对厂界外大气环境及废气处理设备出口、噪声进行检测，同时对施工期间的自检情况进行记录，并报备监理。废气处理达标排放。
投资费用	1000 万元。
运行费用	30 元/m ³ 。

申报单位：上海康恒环境股份有限公司

联系人：胡佳晨

联系电话：15800381480

传真：02180268333

电子信箱：hujc@shjec.cn

案例四

案例名称	郴州市苏仙区观山洞村重金属污染土壤修复示范工程
------	-------------------------

案例概况	业主单位：郴州市新天投资有限公司。 工程地点：郴州市苏仙区观山洞村西河沿岸一废弃采选厂南侧片区。 污染特征：根据郴州市环保局及苏仙区环保局的监测资料，土壤中的 Pb、Zn、Cd、As 都超过《土壤环境质量标准》（GB 15618-1995）三级标准，其中 Cd 超标最为严重，最大浓度为 11.73mg/kg，超出标准限值 11.73 倍。As 最大浓度为 291.2mg/kg，超出标准限值 7.28 倍。 项目规模：本工程需要修复的土壤面积为 20 亩，修复的土壤体积为 1612m³。 实施周期：2014 年 10 月至 2015 年 10 月。 采用本装备原因：稳定化工艺修复周期短、修复效果好并且经济可行，本装备对污染土壤土质及含水率适应范围广、处理效率高、加药计量精度高、破碎混合效果好、自动化程度高，能有效提高稳定化处理效果。 验收单位：郴州市新天投资有限公司；验收时间：2015 年 10 月；验收结论：对稳定化工艺回填区取 10 个点位土壤进行重金属毒性浸出分析，浸提液中重金属 Pb、Cd、Zn、As、Cu 的浓度均满足《地下水环境质量标准》（GB/T14848-93）III类标准要求。
工艺流程	按场地调查确定的重金属污染范围，将受重金属污染的土壤从污染区域内挖掘出来，运输至指定修复区域内进行暂存堆置。经初步预处理的污染土壤在进料计量斗内称重计量，按相应设计比例在固体药剂计量斗内进行固体药剂的计量，在液体药剂计量斗进行液体药剂的计重计量，在水计量斗进行水的计重计量。随后将污染土壤与固体药剂同时进行卸料，在破碎筛分混合器内进行破碎筛分，完成污染土壤与固体药剂的初步混合。初步混合后的污染土壤将通过 Z 形固体物料输送机输送至双卧轴高效强制混合器进行二次充分混合，与此同时将液体药剂及水经由相应的计量设备泵出，在管道混合器内进行充分的混合稀释，经由双卧轴高效强制混合器内的喷淋管道及雾化喷头喷出，与固体物料进行充分混合。根据设计混合时间完成充分的混合后，双卧轴高效强制混合器进行卸料输出。输出的处理后物质经由其它运输工具进行转移。输送至养护区进行养护处理，养护后取样检测，合格品送至回填区域进行回填，不合格土样重新进行搅拌混合。
主要工艺及设备参数	计量系统：液体药剂计量 200L，水计量 200L；固体药剂暂存 1m³，固体药剂计量 0.5m³；污染土壤/污泥计量 1m³；输送系统：固体物料输送 20-30t/h，液体物料输送 20m³/h；混合系统：强制混合器 500L/批次；出料系统：固体物料 150t/h。
应用效果	对稳定化工艺回填区取 10 个点位土壤进行重金属毒性浸出分析，浸提液中重金属 Pb、Cd、Zn、As、Cu 的浓度均达到《地下水环境质量标准》（GB/T14848-93）III类标准要求。
二次污染防治情况	开挖时，对作业面和土堆适当喷水，使其保持一定湿度，减少扬尘量。开挖的泥土和垃圾及时运走，防止长期堆放表面干燥而起尘或被雨水冲刷。风速过大

	时，停止施工作业，并对堆放材料采取遮盖措施。
投资费用	装备租赁费用约为 46 万元。
运行费用	运行费用包括电费、人工、设备维护费用约 2.5 万元（不含零件更换及药剂费用）。

申报单位：湖南新九方科技有限公司

联系人：纪智慧

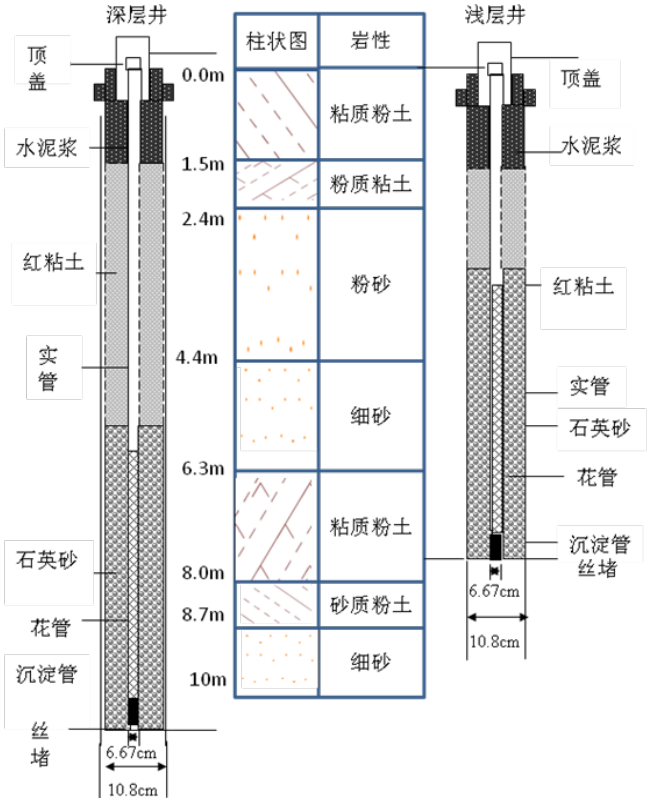
联系电话：13548969527

传真：85172088

电子信箱：79647124@qq.com

12. 车载式原位注入装备典型应用案例

案例名称	北京市焦化厂示范工程
案例概况	业主单位：北京市保障性住房建设投资中心。 场地概况：该厂占地面积共 150 万 m²，污染呈现污染范围广、污染物种类多、污染层次深并潜在危害地下水等特点。 污染特征：勘察评估发现，焦化厂场地土壤中存在严重的有机物污染，并且危及地下水，对环境的影响不容忽视。由于长期生产排放以及泄漏等原因，场地内主要存在苯系物和多环芳烃污染，污染最严重的土层集中在地下 4~6m 以及 8~10m 之间，且场地东部苯系物污染比较严重，中部苯系物和多环芳烃污染比较严重，西部多环芳烃污染比较严重；土壤中多环芳烃和苯系物的最大浓度超过 10000mg/kg。 项目规模：修复土方量约 4000m³。 实施周期：90 天。 采用本技术装备的原因和优势条件：车载式原位注入装备可现场配置固体和液体化学氧化修复制剂，并可实现高压连续注入，在精准输送方面已超过国际先进同类科研装备，其主要优点如下：（1）通过对设备各个模块的集成式设计，实现功能的一体化；（2）车载式设计可确保设备的可移动性和便捷性；（3）通过自控装置上的触摸屏操作系统设计，实现设备的全流程化操作；（4）通过无线网络连接到 DCS 系统，实现对设备的远程操作及控制；（5）通过 DCS 系统中的数据记载功能设计，实现对修复过程中各参数的实时监测和记录。 组织验收单位：北京市科学技术委员会；验收时间：2010 年 11 月 29 日；验收结论：研制的车载式污染场地原位化学氧化修复装备取得了明显效果，对土壤中多环芳烃等污染物的去除效率大于 90%；针对焦化类污染场地所开发的修复装备具有创新性，填补了国内相关领域的空白。

工艺流程	(1) 化学氧化注入井布置：依据场地内污染物分布状况以及氧化剂的影响半径，共布设 22 个注入井，其中浅层井 9 个，深层井 13 个。(2) 化学氧化注入井结构：土层深度、土壤岩性以及开筛长度等因素会影响氧化剂在土体中的扩散。为了提高注入效率，将大量氧化剂注入到污染严重的区域，以达到有效去除污染物目的，现场采用注入井分层开筛的策略，通过现场小试确定了最佳的开筛长度和位置以利于氧化剂在砂质土层充分扩散，药剂主要汇集在粘质土层上方，并缓慢的向粘质土层中扩散，保证获得最佳的修复效率。  (3) 参数获取：注入井建成后，通过注水试验计算获得深层井和浅层井的自然渗透系数分别为 2L/min 和 0.25L/min。当氧化剂在压力作用下的扩散速率大于注入速率时，氧化剂可能从土表渗出，现场通过小试试验确定不同土层的最佳注入流量。利用车载式化学氧化修复设备对每口井进行了注入流量研究，确定氧化剂的最大流量为深层井 1000L/h、浅层井 400L/h。(4) 装备注入过程：利用化学氧化注入装置，配制 1.5%的高锰酸钾氧化药剂，按平均注入流量 300L/h 注入氧化药剂，历时 90 天，实际共注入 581.4m³。
主要工艺及设备参数	混合液罐由溶解槽、熟化槽和混合液槽三部分组成，体积均为 0.33m³，总容积为 1m³，材质为不锈钢。2 台计量泵，额定流量均为 1000L/h，额定压力为 12MPa，电机功率为 11kW，额定泵速为 120spm。
应用效果	处理后大部分土层中 PAHs 平均浓度均下降到 10mg/kg 以下，平均去除率在 90% 以上。

二次污染防治情况	氧化剂和有机污染物发生反应后，有机物被氧化成二氧化碳或其他危害较低的产物，降低二次污染风险。
投资费用	设备设计研发与研制加工等总费用为 432 万元（含车载模块）。
运行费用	主要支出为氧化剂费、水费、电费、油费、设备折旧费等；该区域为高浓度污染土壤，平均每吨土的修复成本约为 950 元。

申报单位：中国科学院地理科学与资源研究所

联系人：廖晓勇

联系电话：13910087772

传真：010-64889848

电子信箱：liaoxy@igsnr.ac.cn

13. 污染土壤及地下水高压旋喷注入装备典型应用案例

案例名称	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
案例概况	业主单位：武汉中央商务区投资控股集团有限公司。 项目规模：总污染土壤修复方量 37.02 万 m³，其中原位高压旋喷技术修复土壤方量约 22428.37m³。 污染因子：重金属：Hg、Cd、Cr、Cu、Zn、Pb；有机物：氯苯、1,2-二氯苯、苯、四氯化碳、二甲苯、萘；SVOCs：苯并[a]蒽、苯胺。 实施周期：22 个月。 技术选择：-9m 以下污染区域均为有机污染物，但污染深度较深，综合考虑经济、安全、环保及可操作性等多方面因素，不宜采用大面积异位开挖方式进行修复，结合场地污染特征和污染分布状况，采取高压旋喷工艺进行原位修复。 组织验收单位：武汉市环境保护局；验收时间：2017 年 9 月 15 日；验收结论：二期工程建设单位落实了项目修复设计方案（含变更资料）、环评报告及相关批复中提出的各项污染防治措施。根据验收调查及修复评估结果，各类污染物排放能够满足相关规范及标准要求，污染土壤修复达到修复目标值，满足工程质量验收要求。项目验收资料齐全，经现场核查，项目符合环保验收要求，同意通过验收。
工艺流程	工艺流程图如下：

	<pre> graph TD A[实施地块准备] --> B[测量、标定注入点 钻孔位置] B --> C[地质钻机引孔作业 (0~3m)] C --> D[设备调试、试喷检查] D --> E[下钻至设计修复深度] E --> F[旋喷至设计顶面 (自下而上)] F --> G[必要时复喷 (追加施工)] G --> F G --> H[静置反应 (反应周期视情况而定)] H --> I[过程监测 (pH、ORP、K药剂残留)] I --> J{修复后土壤采样自验收 (依据修复目标)} J -- 不合格 --> G J -- 合格 --> K[修复合格达标 完成修复] L[氧化药剂溶液配置 (K+S药剂混合)] --> M[高压注浆泵 泵送药剂溶液] M --> F N[高压空气注入] --> F </pre> 利用高压旋喷注入的方式将液态修复药剂和污染土壤强制混合均匀，促进药剂与污染土充分接触，以分解污染物质。高压旋喷钻机施工过程中低震动、低噪音、无污染，不引起土体隆起或侧面挤出。
主要工艺及设备参数	单孔药剂投加量约 500L，药剂配比 3:1，氧化药剂单孔用量约 140kg。设备参数：注浆压力 26~30MPa，注浆流量 35~65L/min，空气注射压力 0.7Mpa，空气流量 3m³/min，钻杆提升速度①15cm/min(-14~-5m)，钻杆提升速度②45cm/min(-1~-5m)，钻杆旋转速度 5r/min(-14~-5m)，钻杆旋转速度 25r/min(-1~-5m)，喷嘴直径 2mm，最大掘进深度-14m。
应用效果	原位修复区域污染物主要为氯苯污染，修复前初始浓度约 200~1600mg/kg，经高压旋喷原位化学氧化修复治理后，土壤中氯苯含量降至 6mg/kg 以下，达到修复目标要求。
二次污染防治情况	将原位修复施工过程中的注射涌浆及设备清洗废液及时收集至污水处理站进行处理，过程中无污水无组织排放情况发生。固体废物主要来源于药剂包装袋、采样管等耗材，整个过程中加强废物监管，及时安排专人收集和存储。
投资费用	原位修复工程总投资约 1550 万元，其中设备投入约 350 万元，药剂费用投入约 1050 万元，其他费用 150 万元。
运行费用	土壤处理运行成本 550 元/m³，其中药剂占 70%，机械占 20%，其它占 10%。

申报单位：北京建工环境修复股份有限公司

联系人：刘鹏

联系电话：15210246545
 传真：010-68096677
 电子信箱：liupeng@bceer.com

14. 污染地块直接推进式钻探与采样系统典型应用案例

案例一

案例名称	江苏金浦北方氯碱集团原厂址场地环境调查与风险评估
案例概况	业主单位：江苏方正环保设计研究有限公司。 受业主委托，江苏省环境科学研究院和南京贻润环境科技有限公司作为乙方，组织 2 台不同取样钻机同时入场进行采样工作：EP3000 污染地块快速取样流转系统（配套直接推进土壤取样装置）和 Geoprobe7822DT（对照），土壤无扰动取样、取样深度 15m。 江苏金浦北方氯碱集团有限公司原厂址占地面积约 490 亩，地势较为平坦。根据调查工作要求和场地实际情况，在全场地内分散布设土壤采样点位 73 个，取样深度约 15m，总进尺数 965m，且均采用洗孔机对地面进行破孔处理后钻进采样。其中 EP3000 污染地块快速取样流转系统（配套直接推进土壤取样装置）完成 20 个采样点，Geoprobe7822DT 设备完成 53 个采样点；现场采样施工时间为 2017 年 3 月 3 日~4 月 29 日（包括初步调查和详细调查现场工作）。取出的土壤样品由经 CMA 认证的第三方检测机构现场收样、保存，并尽快运输至实验室分析。现场采样施工符合规范，两类取样钻机所采相邻点位样品检测结果没有明显区别，所采样品质量可靠、具有代表性，且未造成二次污染或交叉污染，项目予以通过验收。 验收单位：江苏方正环保设计研究有限公司，验收时间：2017 年 5 月，验收结论：通过验收。
工艺流程	驱车驶往取样地点，车尾对准取样调查点；操作车厢内操控台，将钻机伸至车外，钻机底部托盘接触地面以固定；从车厢内取出采样钻杆等工具，将取样钻头、钻杆接入钻机，操作操控台进行钻孔取样工作，将采出的样品就地封装，并发往检测单位。取样结束后，将配套工具取下并放至车厢内，操作操控台回缩钻机至车厢内驶离取样地点，驱车行至下一取样地点。直接推进土壤取样装置工作流程：将外钻杆与第一切削钻头连接，第一取样管放入保护管中，并和保持器连接后放入外钻杆内部；采用直压式取样方法将前述步骤组合的装置推进至土壤内部，将保护管连同第一取样管和保持器取出，获得表层土壤样本，外钻杆与第一切削钻头无需从土壤中取出；将内钻杆与第二切削钻头连接，第二取样管置于内钻杆内部；将以上组合的装置插入外钻杆内，继续向下采用直压式取样方法推进至土壤目标深度后取出，将第二取样管取出，获得深层土壤

	样本。
主要工艺及设备参数	汽车配置：国 V 排放标准；电喷发动机；云内 70KW95 马力柴油环保发动机（YN27CRE1）；重量 5.5t；体积（长×宽×高）6m×2.3m×2.8m。钻机伸缩：500mm；钻机钟摆：±7°；钻机倾斜：-5°~70°；钻机额定功率 70kW；液压冲击力 122Nm；液压装置下压力 12.98t；液压装置回拔力 18.60t；液压油压力 18MPa。取样装置参数：削钻头均为薄壁结构，刃口角度<15°，表层土取样管外径 3.25 英寸、内径 2 英寸，深层土取样管外径 2 英寸、内径 1.5 英寸，单次取样推进深度为 1.5m，取样深度 15m。
应用效果	依据该场地 4 组采样点位各样品检测结果对比，分别基于 EP3000 污染地块快速取样流转系统（配套直接推进土壤取样装置）和 Geoprobe7822DT 设备采集的相邻点位土壤样品检测结果没有明显区别，均较好地代表了局部区域土壤状况，暂未发现明显的异常土壤样品，采集的土壤样品质量可靠、具有代表性、无二次污染或交叉污染，能够满足场地环境调查工作要求。
二次污染防治情况	汽车尾气排放标准符合国家标准，不会造成尾气排放污染。直接推进取样未产生二次污染，现场遗留的未送检的土壤样品经收集后统一暂存、处置；直接推进取样未产生交叉污染。样品检测中没有明显地增加已有污染物含量或新增加其他异常污染物。
投资费用	该场地取样过程中使用的 EP3000 污染地块快速取样流转系统（配套直接推进土壤取样装置）为新生产、第一次投入实际应用，投资费用即为该装置的生产费用，约 60 万元。
运行费用	按运行成本 80 元/m 和本项目利用 EP3000 污染地块快速取样流转系统（配套直接推进土壤取样装置）进行取样的部分总工作量约 280m，运行费用约 22400 元。

申报单位：江苏省环境科学研究院、南京贻润环境科技有限公司

联系人：丁亮、陈鹏

联系电话：13851968182、13814045066

传真：025-58527719、025-56229881

电子信箱：13851968182@163.com、info@eprobe.ca

案例二

案例名称	徐州远强化工有限公司原厂址场地环境调查与风险评估项目
案例概况	业主单位：江苏方正环保设计研究有限公司。 受业主委托，南京贻润环境科技有限公司乙方，组织 2 台不同取样钻机同时入场进行采样工作，现场采用 EP2000 污染地块直接推进精准取样系统和

	Geoprobe（对照），同时进行土壤无扰动取样。 根据调查工作要求和场地实际情况，在全场地内分散布设土壤采样点位 32 个，总进尺数约 400m，且均采用洗孔机对地面进行破孔处理后钻进采样。在调查工作开展前，场地污染情况不详，需取得土壤样品后经实验室检测分析确定场地污染状况。实施工期为 2017 年 3 月 6 日~4 月 21 日（包括初步调查和详细调查现场工作），由于实验室检测分析需要的土壤样品量较大，传统的 2.25 英寸采样管需截取较长长度方可满足样品量要求，但这同时降低了土壤垂向污染分辨率；因此，在开展该场地实际采样工作时，根据现场情况在初步调查和详细调查两个阶段共选取其中 10 个点位采用 EP2000 污染地块直接推进精准取样系统进行土壤样品取样，另外 22 个点位采用 Geoprobe 设备进行取样。在开展该场地实际采样工作时，筛选了 4 组不同设备的相邻采样点位，对 EP2000 污染地块直接推进精准取样系统和 Geoprobe 设备采集土壤样品检测结果进行对比分析。 验收单位：江苏方正环保设计研究有限公司，验收时间：2017 年 5 月，验收结论：通过验收。
工艺流程	物流车将本设备运至调查点附近下卸，遥控驶入调查点位置；操作设备操控台，探针置于钻杆内，探针前端连接采样管，内外钻杆通过液压锤同时直接贯入土壤中，连续快速取到地表到特定地下深度的土壤样品，取出样品可保持土壤原来的构造、容积密度、孔隙率、含水量等物理力学性质。
主要工艺及设备参数	行程：2m；重量：4.8t；宽度：2030mm；长度：3650mm；伸展：400mm；倒摆：$\pm 7^\circ$；倾斜：$\pm 5^\circ$；行走速度：低速 0-3km/h，高速 0-8km/h；履带型号：320°$\times$84$\times$54；爬坡角度：$\pm 30^\circ$；额定功率：75kW；总排量：4.5L；最大扭矩/转速：380Nm/(1400-1600)rpm；发电机：28V-55A；最大工作压力 235bar。
应用效果	依据该场地 8 个采样点位各样品检测结果，经数据分析和拟合形成了场地特征污染物浓度三维空间分布示意图，经拟合得到的污染空间分布趋势明显，表明采集的样品具有代表性、无二次污染或交叉污染。现场采样施工符合规范，所采样品均符合标准，能够满足场地环境调查工作要求。
二次污染防治情况	直接推进取样未产生二次污染，现场遗留的未送检的土壤样品经收集后统一暂存、处置；直接推进取样未产生交叉污染。样品检测中并没有明显地增加污染物含量以及新增加其他异常污染物。
投资费用	该场地取样过程中使用的直接推进取样设备为新生产、第一次投入实际应用，投资费用即为该装置的生产费用，约 80 万元。
运行费用	按运行成本 80 元/m 和本项目利用本设备进行取样的部分总工作量 20m，运行费用约 1600 元。

申报单位：环境保护部南京环境科学研究所、南京市宜德思环境科技有限责任公司

联系人：祝欣、陈小萍

联系电话：13405805958、13814053332
 传真：025-85287298、025-52482816
 电子信箱：Zhuxin@nies.org、690946618@qq.com

15. 土壤砷（形态）、镉、汞液相-原子荧光（LC-AFS）分析仪典型应用案例

案例名称	砷污染农田土壤修复工程
案例概况	业主单位：中国科学院地理科学与资源研究所。 项目概况：湖南省石门县是矿产资源大县，有储量居世界之冠的雄黄矿、居亚洲之冠的矽砂矿、磷矿。长期采矿、冶炼过程中往往伴生高浓度砷，也导致局部地区土壤砷污染严重。中国科学院地理科学与资源研究所拟对该地区的污染农田进行修复，建立超富集植物育苗工厂 1 座，进行蜈蚣草萃取修复的种苗繁育，以满足 200 亩植物萃取修复规模的用苗需求。项目拟研究强化植物萃取技术对土壤砷污染的修复情况。 原子荧光光谱仪是我国少数拥有自主知识产权的产品之一，因具有灵敏度高、线性范围宽、仪器结构简单、成本低廉、易于维护、光谱干扰及化学干扰少等诸多优点，对于砷污染土壤修复工程中涉及到的土壤及植物中的砷元素的监测更具优势。液相色谱-原子荧光联用仪，不仅能完成该项目中砷元素总量的测量，还能对砷污染情况进行更具科学性的形态分析，也能对植物萃取过程中的砷元素形态转化做进一步的研究。 中国科学院地理科学与资源研究所于 2015 年 8 月对该设备产品进行了验收。验收结果表明，该产品安装调试过程中无异常情况，使用状态良好，各项技术指标合格，满足其科研使用需求。尤其对该仪器不仅能够进行土壤等环境样品中有毒有害砷元素的总量分析，也能对砷元素的形态进行分析表示认可。
工艺流程	1、样品前处理 土壤样品在室内风干后，挑出石块和植物残枝，用玛瑙研钵研细过筛备用。植物样品分地上和地下两部分，冲洗烘干后研磨，待用。总量分析前处理：土壤样品采用硝酸-过氧化氢体系进行消化，植物样品采用硝酸-高氯酸体系进行消化。形态分析前处理：采取磷酸或稀硝酸体系进行提取。 2、用土壤中痕量重金属污染物形态分析仪测砷元素总量 （1）配制砷元素的标准溶液及氢化反应所需要试剂； （2）开机后打开氩气钢瓶，设置砷元素测定时的灯电流、负高压等的仪器参数，并对仪器进行预热； （3）进行标准溶液和样品的测量，并得到待测样品中的砷元素含量； （4）对仪器进行清洗，关闭氩气，关仪器。 3、用土壤中痕量重金属污染物形态分析仪测定砷元素形态

	(1) 配制砷形态标液，流动相、载流和还原剂等； (2) 开机后打开氩气，进行液相泵排气，设置仪器参数，并对色谱柱进行平衡及预热仪器； (3) 进行标准溶液和样品的测量，计算出待测样品中砷元素各形态的含量； (4) 清洗仪器及色谱柱，关闭氩气，关仪器。
主要工艺及设备参数	1、测量砷元素总含量的条件：总/辅灯电流：60/30mA；负高压：280V；原子化器高度：10mm；载气流速：400mL/min；屏蔽气流速：900mL/min；读数/延迟时间：13s/1s；定量方法：标准曲线法；读数方式：峰面积；还原剂（硼氢化钾）：2%w/V；载流（盐酸）：5%V/V。 2、测量砷元素形态的条件：（1）色谱条件：色谱柱：Hamilton PRP-X100；流动相：45mmol/L KH_2PO_4+5mmol/L Na_2HPO_4；泵工作方式：等度，流速：1.0mL/min。（2）蒸气发生条件：还原剂（硼氢化钾）：2%w/V；载流（盐酸）：5%V/V。（3）原子荧光条件：灯电流：60/30mA；负高压：300V；载气流速：300mL/min；屏蔽气流速：900mL/min；蠕动泵转速：60r/min。 3、仪器的主要性能参数：（1）总量分析技术指标（As）：检出限$\leq 0.01\text{ng/mL}$；重复性$\leq 0.8\%$；线性范围：三个数量级，相关系数（r）≥ 0.998。（2）形态分析技术指标：仪器最小检测浓度：三价砷、二甲基砷、一甲基砷、五价砷分别为 2、4、4、10ng/mL；定量重复性（RSD）$< 5\%$；基线稳定性（30min）：漂移$< 1\%$；噪声$< 1\%$。
应用效果	项目开展过程中，该仪器完成了上千余次样品测试工作，运行状态良好，为该项目工作提供了详实的数据。
二次污染防治情况	1、测量过程中尾气处理：所测重金元素属在检测过程中以原子蒸汽形式存在，长时间累积会对环境产生二次污染，仪器上方的烟囱中安装了有害元素的捕集阱装置，可以吸附测量尾气中的重金属元素。另外，实验过程中开启排风装置将废气经烟囱从排风管道排出。 2、前处理过程中尾气处理：样品前处理会使用硝酸、高氯酸、过氧化氢等强氧化性物质，在消解过程中可能会产生氮氧化物或者含氯污染物，样品消解在通风橱内进行，并开启排风装置将废气排出室外。 3、废液处理：所涉及的化学反应中载流（一般为 5%的盐酸）是过量的，反应废液呈酸性，pH 值约为 2.0，不能直接排放，使用氢氧化钠进行中和至中性排放。
投资费用	仪器主机、必备耗材及标液等的采购成本在 40~60 万元。
运行费用	仪器应用过程中需要的运行成本有限，主要为氩气、化学试剂以及实验基本耗材的支出。包括：酸、标液、标物、硼氢化钾等试剂、高纯水，还有移液管、移液枪、滤纸、色谱柱、进样针、蠕动泵泵管、PEEK 管、PEEK 三通及接头、连接线等，按案例中的样品数量和仪器使用频率，仪器运行费用约 3 万元/年。

申报单位：北京海光仪器有限公司

联系人：赵慷

联系电话：13331166895

传真：010-64363259

电子信箱：zhaokang@bjhaiguang.com