

# 中华人民共和国生态环境部

## 公 告

2021 年 第 3 号

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》和《中华人民共和国土壤污染防治法》，推动固体废物和土壤污染防治领域技术进步，满足污染治理对先进技术的需求，我部组织征集并筛选了一批固体废物和土壤领域污染防治先进技术，编制形成 2020 年《国家先进污染防治技术目录（固体废物和土壤污染防治领域）》（见附件），现予公布。

附件：2020 年《国家先进污染防治技术目录（固体废物和土壤污染防治领域）》



2021 年 1 月 25 日

## 2020 年《国家先进污染防治技术目录（固体废物和土壤污染防治领域）》

序号	技术名称	工 艺 路 线	主要技术指标及应用效果	技 术 特 点	适用范围	技术类别
<b>一、固体废物污染防治领域</b>						
1	有机固体废物全封闭滚筒好氧发酵技术	有机固体废物和调理物料经预处理后送至全封闭式旋转式滚筒进行高温好氧发酵，通过滚筒的缓慢转动完成物料的混合和充氧，实现物料升温及促进有机物的降解，使物料维持 55℃~70℃ 高温达 5d 以上完成主发酵，有效杀灭病原菌、寄生虫卵和杂草草种，蒸发水分，使易腐有机质转化成稳定的腐殖质。好氧发酵产生的水蒸气和少量臭气由引风机输送至除臭系统处理后达标排放。	有机固体废物经处理后含水率 ≤ 45%；蠕虫卵死亡率 > 95%，粪大肠菌群数 ≤ 100 个/g。臭气净化效率 ≥ 95%，厂界臭气浓度满足《恶臭污染物排放标准》（GB 14554-1993）二级标准要求。	利用全封闭滚筒发酵装置促进有机固体废物的好氧发酵过程，提高了有机固体废物的发酵效率、连续性和稳定性。	规模 ≤ 100t/d 的生活垃圾、城镇污水垃圾处理厂污泥、畜禽粪便、秸秆等有机固体废物处理	示范技术
2	有机固体废物强化好氧发酵分仓技术	有机固体废物经破碎、脱水等预处理后进入分仓式强化推流好氧发酵系统，通过添加菌剂和分仓控制发酵过程的运行参数，实现发酵过程分段-分相，调控形成强化推流路径，发酵温度维持在 55℃~65℃，停留时间为 5d~8d，实现连续进出料和自主截留微生物，发酵产物进入后续腐熟工段。预处理和发酵过程产生的污水进入水处理设施处理，发酵仓连接生物除臭装置除臭。	有机物降解率 ≥ 60%。腐熟产品符合《有机肥料》（NY 525-2012）要求。	实现发酵过程的机械化，通过添加菌剂缩短了发酵时间。	餐厨、果蔬、园林等有机固体废物处理	示范技术

序号	技术名称	工艺路线	主要技术指标及应用效果	技术特点	适用范围	技术类别
3	畜禽粪便空间多层静态好氧发酵技术	该技术采用网状塔盘立体空间多层静态好氧发酵模式，畜禽粪便混合料首先进入顶层发酵激活区，快速激活后落入中层高温好氧发酵区，快速发酵并蒸发水分，最后落入底层完成发酵。其中中层产生的高温气体向上促进顶层微生物激活，中层物料余热随物料排至底层促进发酵，出料后进入后续腐熟工段。	干清畜禽粪便发酵物料经腐熟处理后，符合《有机肥料》(NY 525-2012) 要求。	将好氧发酵过程分置于多层且可移动的发酵盘内，通风自下而上依次穿过各层发酵盘，避免了局部厌氧，提高了好氧发酵效率。	养殖业畜禽粪便处理	示范技术
4	城镇污水处理厂高压深度脱水技术	污泥经添加调配的铁盐调理剂改性后，平铺于上下滤布之间，布料系统以之字形输送滤层，实现框栏内滤层垂直叠加，然后进行高压液压机压榨脱水，在薄层布料与高压同时作用下对污泥产生剪切应力，脱除污泥中水分。工作过程中产生的异味气体经收集处理后达标排放。	污泥含水率可由 80%~85% 降至 40%~50%。压榨工作压力 25MPa，压榨时间 30min。	污泥调理过程无需稀释，薄层布料与高压同时作用于污泥脱水，提高了污泥脱水效率。	城镇污水处理厂污泥脱水	示范技术
5	污泥干化与生活垃圾协同焚烧技术	湿污泥经浆叶式干燥机间接干化至含水率 40% 左右，然后进入压块造粒机造粒，再按一定比例均匀布料进入垃圾焚烧炉排料斗与生活垃圾协同焚烧。焚烧烟气余热回收产生的蒸汽作为湿污泥间接干化的热源。污水、烟气经治理后达标排放。	污泥掺烧比例 $\leq 11\%$ 。烟气排放满足《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485-2014) 要求。	利用垃圾焚烧余热干化污泥，并与生活垃圾协同焚烧。	城镇污水处理厂	推广技术
6	城镇污水处理厂污泥干化-鼓泡型流化床焚烧技术	湿污泥经焚烧余热回收产生的蒸汽间接干化后含水率降至 30%~40%，再与含水率 80% 的污泥混合为含水率 50%~60% 的污泥，投入鼓泡型流化床焚烧炉充分燃烧。焚烧烟气在温度高于 850℃ 的炉膛内停留 2s 以上，再经余热利用系统生产蒸汽回收热能后净化达标排放。	污泥减量率 $\geq 90\%$ 。烟气排放满足《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485-2014) 要求。	利用焚烧余热产生的蒸汽间接干化污泥；污泥在鼓泡型流化床焚烧炉内可实现自持焚烧。	城镇污水处理厂污泥干化和焚烧	推广技术

序号	技术名称	工艺路线	主要技术指标及应用效果	技 术 特 点	适用范围	技术类别
7	基于热水解的污泥厌氧消化及沼渣利用技术	脱水污泥先在 165℃饱和蒸汽条件下反应约 30min 完成热水解，然后含固率 8%~10%的热水解污泥在 38℃~40℃温度下厌氧消化 18d~21d。厌氧消化脱水沼渣可作为有机营养土利用，沼液经厌氧氨氧化及高级氧化处理后达标排放，产生的沼气收集净化后用于发电或提纯。	每吨干污泥产沼气约 300m <sup>3</sup> 。脱水沼渣满足《城镇污水处理厂污泥处理（CJ/T 362-2011）》要求，沼液处理后满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）要求。	水热处理提升厌氧消化效率，脱水沼渣用于园林营养土实现资源化利用。	城镇污水处理厂污泥处理及资源化	示范技术
8	利用河湖底泥及农业固体废物制备高性能蓄水性材料技术	河湖底泥经初次搅拌后送入堆场进行搅拌，一级搅拌过程中加入配方添加剂，二级搅拌过程中添加适量粉碎秸秆。搅拌好的物料送入造粒机制成直径 3cm 左右的颗粒，然后送入网带窑烘干干燥，干燥后再送入移动式烧窑高温煅烧，煅烧好的颗粒进入冷却机冷却并振动分筛得到蓄水陶土。生产过程中产生的烟气经治理后达标排放。	底泥中重金属固化结晶率≥99%。蓄水陶土产品符合《轻集料及其试验方法 第 1 部分：轻集料》（GB/T 17431.1-2010）要求。高温煅烧温度 1050℃，时间 3h。	利用农业有机固体废物的能量和造孔性能，将河湖底泥通过高温煅烧制备蓄水陶土。	河湖底泥和农业有机固体废物的协同资源化治理	示范技术
9	生活垃圾填埋场污染防控和地下水修复技术	该技术通过采用生活垃圾填埋场污染精准识别与监控预警技术、填埋结构优化与快速稳定化和生活垃圾填埋场地下水污染风险评估与分级分区强化修复技术，实现生活垃圾填埋场污染防控和地下水修复。	新型微洗井地下水污染监测系统较传统国家标准监测井工作效率提升 5~10 倍，洗井体积缩小至 1/54 以下；地下水多级准原位协同修复效率较传统可渗透反应墙技术提升 30%以上。	通过三维荧光光谱和平行因子分析精确识别地下水污染物，同时通过技术集成实现生活垃圾填埋场全流程、系统性的防控与修复。	生活垃圾填埋场的综合预警和治理	示范技术

序号	技术名称	工艺路线	主要技术指标及应用效果	技术特点	适用范围	技术类别
10	基于水热法的工业石膏资源化技术	工业副产石膏经预处理除杂后得到满足要求的水硫酸钙，输送至溶解槽配成一定比例的悬浮液后再送至水热转晶釜，在高温高压条件下逐渐转化成 $\alpha$ 型高强石膏。在石膏离心机作用下，废液排至回水罐用于制浆，滤饼进入干燥系统干燥后送入特种改性磨机优化产品石膏粉的力学性能，干燥系统产生的粉尘经布袋除尘收集。过程中，冷却产品的热空气用作干燥石膏滤饼的热源，减少了废热排放。	$\alpha$ 型高强石膏产品符合《 $\alpha$ 型高强石膏》（JC/T 2038-2010）中 $\alpha$ 50等级要求。转晶热源为0.6MPa蒸汽。	集成了工业副产石膏水热资源化利用技术和成套装备，产出高附加值产品。	磷肥、氯碱、盐业等行业石膏资源化	示范技术
11	水热炉窑协同处置生活垃圾技术	生活垃圾经预处理后输送到热盘炉内可缓慢旋转的炉盘上进行焚烧，可通过调节炉盘转速调节生活垃圾焚烧停留时间。焚烧底渣进入水泥窑参与熟料反应生产水泥熟料，烟气经治理后达标排放。	烟气排放达到《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB 30485-2013）要求。掺加生活垃圾质量不超过入窑物料总质量的30%。	生活垃圾焚烧时间可通过炉盘转速调节，焚烧底渣进入水泥窑，缓冲了直接焚烧对水泥窑熟工系统的冲击。	4000t/d以上的新型干法水水泥窑协同处置垃圾	示范技术
12	金精矿氰渣污染控制技术	该技术采用生物氧化、焙烧、热压氧化预处理和金矿铜萃取工艺路线，利用含硫金矿石或金精矿焙烧渣酸浸铜萃取工艺产生的萃取废液、焙烧预处理工艺产生的烟气、生物氧化及压力氧化预处理产生的氧化液，对生产工艺中氧化浸出产生的氰渣及含氰废水进行协同催化氧化及固化稳定化处理。处理后氰渣入尾矿库处置或作为回填料代的替代原料利用。	处理后氰渣达到《黄金行业氰渣污染控制技术规范》（HJ 943-2018）要求。入尾矿库时，浸出液中总氰化物（以CN计）测得值 $\leq 5\text{mg/L}$ ；作为回填料利用时，浸出液中总氰化物（以CN计）测得值低于《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）规定的回填所在地下水质量分类的限值。	以废治废，利用综合预处理过程产生的废液、废气、氧化液等实现氰渣解毒及资源化利用。	黄金行业氰渣解毒，解入后氰渣进入尾矿库处置或作为回填料替代原料利用	推广技术

序号	技术名称	工艺路线	主要技术指标及应用效果	技 术 特 点	适用范围	技术类别
13	含砷废渣矿化稳定化处理技术	该技术采用矿化反应实现含砷废渣的稳定化处理，含砷废渣经破碎称重后送入矿化反应器，在反应器内加入复合矿化剂和水后进行矿化稳定化反应，矿化处理后的废渣经检测达标后可送至危险废物填埋场填埋处置。	处理后，砷及其他重金属指标达到《危险废物填埋污染控制标准》(GB 18598-2019)要求。处理前后增容比 1~1.6。	采用常温常压稳定化工艺，实现了对以砷为主的多种复杂有毒有害成分的同时稳定化处理，工艺过程节能节约。	硫化砷渣、中和砷渣、砷碱渣等含砷废渣处理处置	推广技术
14	废蚀铜液资源化利用技术	该技术采用多重梯次化学合成及废水深度净化集成工艺，实现废蚀铜液资源化利用。废蚀铜液经除杂净化后，采用碱式氯化铜、氧化铜、硫酸铜、碱式碳酸铜等合成工艺，回收碱式碳酸铜产品。工艺过程中产生的废水经离子交换吸附回收铜，再经蒸发冷却结晶得到氯化铵产品；蒸发冷凝液采用离子交换+反渗透 (RO) 工艺处理、高盐废水采用离子交换+脱气膜+电氧化+深度氧化-吸附耦合工艺处理后达标排放。	废蚀铜液中铜回收率 > 99.99%。处理后废水中铜和氨氮等主要指标达到相应排放标准要求。	采用碱式氯化铜、氧化铜、硫酸铜、碱式碳酸铜梯次合成工艺，实现废蚀铜液中资源高效回收。	印制电路板行业废蚀铜液资源化无害化处理	推广技术
15	生活垃圾焚烧飞灰高温等离子体熔融技术	该技术采用高温等离子体熔融技术实现飞灰玻璃化。飞灰和添加剂配伍后造粒，送入等离子体熔融炉迅速熔融。熔融过程中，飞灰中二噁英等有害物质彻底分解为小分子物质（如 CO <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> O、HCl 等），无机物（如 CaO、SiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 等）形成玻璃液，飞灰中重金属在玻璃液冷却过程中，被固定在玻璃态渣的硅氧四面体结构中。烟气经处理后达标排放。	玻璃态渣浸出浓度可达到《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017) 中 III 类标准。烟气排放达到《危险废物焚烧污染控制标准》(GB 18484-2001) 要求。添加剂添加比例 20%~40%，综合电耗 < 1000 kWh/t 飞灰。	降低了飞灰熔融温度，可形成满足建材资源化要求且稳定的玻璃态渣。	生活垃圾焚烧飞灰处理	示范技术

序号	技术名称	工艺路线	主要技术指标及应用效果	技术特点	适用范围	技术类别
16	生活垃圾焚烧飞灰模袋填埋技术	该技术使用模袋在填埋场内完成飞灰螫合稳定化。将飞灰、螫合剂、助流剂和水搅拌均匀后，泵送至填埋坑内的模袋中，进行螫合并密封包装成型。	飞灰固化体中二噁英、汞、镉、砷、铬等污染物的浓度满足《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889-2008)中填埋入场要求。	采用模袋填埋方式，飞灰模袋堆体稳定性高，压实效果好，可提高库容利用率。	生活垃圾填埋 烧飞灰 处置	示范技术
17	废铅蓄电池破碎分选及资源回收技术	废铅蓄电池经全自动精细破碎，分选出硫酸铅膏、铅栅、塑料等。铅栅由转炉系统熔炼成粗铅，塑料回收用于铅蓄电池外壳制造。采用预脱硫工艺，生产副产物硫酸钠或硫酸铵；或采用后脱硫工艺，氧化炉SO <sub>2</sub> 烟气经收集处理，生产精制硫酸。铅膏经富氧侧吹熔炼等工艺，产生粗铅，经电解精炼产生电铅。工艺过程中还原炉烟气、精炼烟气、熔炼区域环集烟气经布袋除尘、离子液脱硫、电除雾后达标排放，废水经分质分类处理达标回用。	铅回收率≥99%，硫回收率≥95%。产出的铅锭符合《铅锭》(GB/T 469-2013)，精锡符合《锡锭》(GB/T 728-2010)，精制硫酸符合《化学试剂 硫酸》(GB/T 625-2007)，工业硫酸符合《工业硫酸》(GB/T 534-2014)中优等品质量标准及其他相关要求。处理过程符合《废铅蓄电池处理污染控制技术规范》(HJ 519-2020)要求。	采用预脱硫或后脱硫，铅栅由转炉系统熔炼成粗铅，铅膏采用“氧化熔炼—还原吹炼”双侧吹富氧熔池熔炼技术，实现废铅蓄电池全组分资源化利用。	废铅蓄电池 资源化利用	推广技术
18	废铅蓄电池铅膏连续熔炼技术	采用连续浸没式熔池熔炼技术，废铅蓄电池铅膏中的碳酸铅、硫酸铅转化成氧化铅，然后以碳作还原剂，将氧化铅还原成金属铅，在熔炼过程中加入黄铁矿烧渣(FeO)、石英石(SiO <sub>2</sub> )、生石灰(CaO)，形成熔点低、稳定的渣相作为化学反应、传热、传质的载体，实现熔炼反应均在渣相中完成。烟气经净化后达标排放。	铅回收率>98.5%，锡、锡回收率>95%，硫回收率>98.5%，尾渣含铅<2%。处理过程符合《废铅蓄电池处理污染控制技术规范》(HJ 519-2020)要求。	实现连续进料、连续出铅，金属回收率高。	废铅蓄电池 资源化利用	推广技术

序号	技术名称	工艺路线	主要技术指标及应用效果	技 术 特 点	适用范围	技术类别
19	废电路板富氧顶吹熔池熔炼技术	废电路板经破碎、辅料配伍后投入熔炼炉高温熔炼，废电路板中的铜箔熔化、沉积在熔炼炉底部定期排出，渣相与加入的石灰石、石英砂和球团矿等辅料反应生成熔炼炉渣，定期排出水淬处理。熔炼烟气经高温焚烧破坏有机物并净化后达标排放。	金属回收率：Cu>98%，贵金属（金、银、钯等）>96%。熔炼温度 1200℃~1250℃，烟气停留时间 3s。烟气排放达到《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484-2001）要求。	采用富氧顶吹熔池熔炼技术，实现废电路板短流程高效处理，回收废电路板中有价金属元素。	废电路板处理及资源化	示范技术
20	废旧荧光器件回收拆解技术	采用金刚石刀片环切技术实现 CRT（阴极射线显像管）显示器屏和管锥的自动化分离，通过立体式环保拆解工装体系，拆解废旧液晶显示设备后，经激光切割、高压吹脱、破碎处理，分离富集稀土荧光粉、回收汞。	CRT 显示器荧光粉收集率≥99%，荧光灯汞回收率≥99%。液晶显示设备拆解分离自动化程度>80%，灯管破损率<1%。	开发了全自动、全封闭拆解及回收系统，可实现废旧荧光器件的高效回收。	废旧 CRT 显示器、液晶显示器设备及荧光灯管等回收利用	示范技术
21	废荧光灯及其他含汞光源回收技术	将废荧光灯管及其他含汞光源送入破碎机粉碎分选实现金属、玻璃与荧光粉分离。将含汞荧光粉吸入旋风分离器及袋滤式集尘机收集，后经蒸馏冷凝工艺回收荧光粉中的汞。废荧光粉交由有资质的单位处理处置。	废荧光灯及其他含汞光源中汞回收率>97.5%，荧光粉中汞回收率>98.5%，回收汞的纯度>99.9%。	破碎分选和蒸馏回收过程均在密闭、负压环境中操作完成。	废含汞光源资源回收	示范技术
22	废矿物油“旋风闪蒸-薄膜再沸+双向溶剂”精制再生技术	废矿物油在系统内换热后，常压闪蒸脱水并减压蒸馏脱除瓦斯油组分，然后经熔盐管式换热，再进入旋风闪蒸-薄膜再沸减压蒸馏塔，塔壁外加热进行二次薄膜蒸发，气体经低压降（<200Pa）洗涤、冷凝后收集。采集的馏分油采用双向溶剂萃取，萃取液经四效蒸馏得到双向溶剂循环使用；萃余液经升-降膜联合蒸发器脱去溶剂后，经汽提和真空脱气得到基础油产品。	基础油回收率≥78%，废油渣<0.4%。产品满足《通用润滑油基础油》（Q/SY 44-2009）I 类 HVI 标准。处理过程符合《废矿物油回收利用污染控制技术规范》（HJ 607-2011）要求。	有效避免了原料废油裂解、焦化造成的结焦问题；基础油回收率高，能耗较低。	废矿物油再生利用	示范技术



序号	技术名称	工艺路线	主要技术指标及应用效果	技术特点	适用范围	技术类别
23	废矿物油循环再生换热蒸馏技术	废矿物油经在线过滤预处理和换热后进入减压闪蒸塔闪蒸分离，按温度切割出 150#、250#、350# 基础油粗品和再生尾油，通过 NMP (N-甲基吡咯烷酮) 复合溶剂抽提粗品中的杂质，得到基础油成品。抽提后的抽出液进行蒸发、汽提，分离出的溶剂循环使用。废水经处理后达标排放。	产品回收率 > 86%，不凝气处理效率 ≥ 98%，产品符合《再生润滑油基础油》(T/CRRA 0901-2018) 中 I 类标准。处理过程符合《废矿物油回收利用污染控制技术规范》(HJ 607-2011) 要求。减压闪蒸塔绝压 8kPa。	将三塔双炉蒸馏技术运用到废矿物油再生工艺中，可有效降低蒸馏温度(显著减少裂解气的产生，有效避免了炉管高温结焦。	废矿物油再生利用	示范技术
24	工业废油循环利用减量技术	该技术采用高速离心物理净化技术实现工业废油在线净化循环再利用。液压站主油箱放油口产生的废油，经净化设备多次循环过滤，在不加温、不添加任何化学试剂情况下，实现对液压设备运行中使用的油品，进行油水、油渣、油气分离。净化后的油品返回主油箱，实现废油源头减量。	在线净化处理后的油品循环再利用率 > 98%。	全过程采用物理净化；可实现液压设备不停机状态下的油品全系统净化；装备小巧便携。	未混合且闪点 > 60℃、运动粘度 3mm <sup>2</sup> /s ~ 350mm <sup>2</sup> /s (40℃) 的工业在线废油循环利用，变压器废油除外	示范技术
25	炉排式生活垃圾焚烧协同处置医疗废物应急处理技术	该技术采用炉排式生活垃圾焚烧炉协同处置医疗废物，实现应急期间大量医疗废物的安全处置。在生活垃圾焚烧发电厂垃圾坑增设医疗废物专区，由专用抓斗将医疗废物送入焚烧炉与生活垃圾一同焚烧。垃圾坑控制为微负压环境，气体收集后送入炉排式垃圾焚烧炉焚烧。通过优化炉膛内焚烧温度、停留时间、湍流度以及过剩空气量等关键参数，确保焚烧充分。焚烧烟气和生活垃圾渗滤液经处理后达标排放，飞灰固化符合相关标准要求后安全填埋。	医疗废物掺烧比例控制在焚烧炉额定处理量的 5% 以内，焚烧炉炉膛压力维持在 -100Pa 左右。烟气排放满足《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485-2014) 要求。	可利用现有生活垃圾焚烧设施应急处置医疗废物。	医疗废物应急处理	示范技术

序号	技术名称	工艺路线	主要技术指标及应用效果	技术特点	适用范围	技术类别
26	移动式医疗废物应急焚烧处置技术	该技术采用移动式焚烧技术，将医疗废物送入焚烧系统，在一燃室烘干和热解，二燃室充分燃烧热解气体，实现医疗废物无害化和减量化。烟气经处理后排放，焚烧残渣和飞灰送至填埋场安全处置。	实现医疗废物的减量化和无害化，满足消毒杀菌要求。	采用移动式处理方案，可实现应急期间医疗废物应急处置。	适用于医疗废物应急处置或特定场景	示范技术
27	医疗废物高温干热处理技术	医疗废物经碾磨破碎并喷洒灭菌药剂后，进入一体化高温干热灭菌室处理，药剂结合搅拌翻动提高灭菌消毒效果，处理全过程在负压环境下进行，产生的废气经低温等离子体技术净化后达标排放。	微生物灭活效率 $\geq 99.9999\%$ 。消毒温度 $170^{\circ}\text{C} \sim 210^{\circ}\text{C}$ ，消毒时间 20min。	间接加热医疗废物，与其他非焚烧技术相比，挥发性有机物排放少；易实现自动化控制。	医疗废物处理	示范技术
28	重点风险源防渗监测系统在线监测技术	该技术为重点风险源的防渗层上下铺设栅格式检测感应器，放置信号发射装置并定期供电进行漏洞定位。先根据不同类型重点风险源的防渗结构特点及电学特征建立物理模型，然后通过分析监测过程中的噪声成因，剔除噪声并确立感应信号的获取方法，在确定高效低冗余的信号传感器布设方式及泄漏定位算法后，通过实测调整监测系统的定位精度和监测方法，定位防渗层泄漏点。	响应泄漏量 $< 0.1\text{m}^3$ ，漏洞定位精度达到米级，漏洞检出率 $\geq 90\%$ 。	采用集中式检测系统，可对重点风险源防渗结构进行长期监测，抗干扰能力强、定位准确、系统可靠性高、操作方便。	以高密度聚乙烯膜为核心构建防渗系统的尾矿库、固体废物填埋场、工业蒸发塘、工业企业原料储存区等重点风险源的防渗监测	示范技术

序号	技术名称	工艺路线	主要技术指标及应用效果	技术特点	适用范围	技术类别
二、土壤污染防治领域						
29	土壤和地下水原位电加热修复技术	土壤和地下水在加热棒热辐射作用下升温至目标温度，污染物加热气化后，通过负压抽提井进入尾气处理单元，处理达标后排放。对于地下水位较高区域，配套抽（降）水井进行抽水、降水作业，抽出的地下水处理达标后排放。	苯并[a]芘、联苯胺、二(2-氯乙基)醚等去除率达95%~99%，可达到土壤修复目标值，尾气排放达到《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)要求。加热温度600℃~800℃；抽提压力20kPa~60kPa，设备中可燃气体浓度控制在爆炸极限下限的25%以内。	高效加热管套可保证恒温，加热效率高；止水止汽结构可更好控制热量损失，升温效率更高；抽提管道矩阵排布技术可解决抽提范围受限的难题。	挥发性和半挥发性有机污染物和地下水原位修复	示范技术
30	有机污染物异位直接热脱附修复技术	污染土壤经预处理后送入回转窑，在加热、负压解吸、机械翻抛扰动等共同作用下，污染物加速解吸释放，尾气经负压抽送、旋风除尘后高温燃烧，烟气经急冷、布袋除尘、碱液喷淋等处理达标后排放。	苯系物、氯代烃、多环芳烃等有机污染物去除率≥99.99%，尾气排放达到《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)和《危险废物焚烧污染控制标准》(GB 18484-2001)要求。窑内气体温度150℃~650℃。	处理效率高，设备自动化程度高。	苯系物、氯代烃、多环芳烃等有机污染物土壤修复	推广技术

序号	技术名称	工艺路线	主要技术指标及应用效果	技术特点	适用范围	技术类别
31	有机污染土壤原位热螺旋脱附修复技术	污染土壤经预处理后送入螺旋加热腔体内，在螺旋运动过程中被加热至目标温度，土壤中污染物受热气化从土壤中解吸逸出，脱附尾气收集处理后达标排放。	修复后土壤中的挥发和半挥发性污染物浓度可达到土壤修复目标值，尾气排放达到《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)要求。预处理后土壤含水率<20%，粒径<3cm。土壤加热温度范围150℃~500℃。	处理效率高，运输、组装和调试周期短，自动化程度高；尾气产生量少，尾气含尘量低。	挥发和半挥发性有机物、汞等土壤修复	示范技术
32	有机污染土壤和地下水原位化学氧化修复技术	采用高压旋喷等方式向土壤或地下水的污染区域注入氧化药剂(如高锰酸盐、过氧化氢、芬顿试剂、过硫酸盐和臭氧等)，使土壤或地下水中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。	氯苯、四氯化碳、二甲苯、萘、苯并[a]蒽、苯胺等污染物初始浓度在10mg/kg~1000mg/kg时，去除率为75%~99%。药剂注射压力20MPa~30MPa，注射流量20L/min~120L/min，压缩空气注射压力0.3MPa~0.8MPa。	可处理土壤和地下水多种有机污染物，处理效果好、施工效率高。	苯系物、多环芳烃、石油烃等有机污染土壤和地下水修复	推广技术
33	有机污染土壤和地下水多相抽提与化学氧化组合修复技术	通过注射系统向土壤中添加界面活性剂，促进土壤中污染物向液相、气相转移，然后进行多相抽提；利用注射系统加入氧化剂进一步处理残留污染物。废水、废气分别收集处理后达标排放。	有机污染物去除率≥90%。与常规气相抽提技术相比效率提高10%。	地面环境扰动小，技术组合灵活性高，二次污染相对小。	渗透性中等及以上场地和半挥发性有机污染土壤和地下水修复	示范技术

序号	技术名称	工艺路线	主要技术指标及应用效果	技术特点	适用范围	技术类别
34	有机污染地下水抽提-注射分质处理技术	依据场地污染现状及水文地质条件, 设计并建设抽提-注射-监测井群系统; 采用抽提处理技术将高浓度污染地下水抽提至地面, 处理达标后用作药剂稀释用水; 通过多功能注射装备, 对中低污染区域注射混合药剂或原位曝气; 如存在拖尾或反弹现象, 注射增溶剂, 促进土壤中吸附态污染物解吸溶解到水相中, 再注入高效氧化/还原剂, 进一步降解溶解态污染物。	三氯乙烯、氯仿去除率≥95%。药剂注射速度为500L/h~1500L/h。	可有效解决修复拖尾或反弹现象, 便于操作, 修复场地干扰小。	卤代烃、石油烃等易降解有机物场地原位修复	示范技术
35	石油烃污染土壤微生物强化修复技术	先对土壤进行破碎筛分, 粒径大于40mm渣土做堆体垫层, 粒径小于40mm土壤施加特异降解菌剂并均匀放置在养护堆场。堆场周边设置挡水墙、排水沟及集水池, 堆体底部布设渗滤液导排管网和通气筛管, 上层布设废气抽排装置, 在堆体上方架设喷淋管并覆盖防雨布。养护期对土壤定期供氧及补水, 通过自动环境监测系统实现设备联动和预警。渗滤液和废气分别收集处理后达标排放。	微生物含量≥10 <sup>7</sup> cfu/g时, 可在45d内实现5000mg/kg石油烃污染土壤达标治理。处理土壤粒径≤40mm, 堆体含氧量2%~4%; 堆体含水率20%~30%, 温度15℃~45℃。菌液有效菌含量>5×10 <sup>9</sup> cfu/mL。	通过供氧、补水等方式, 强化微生物菌剂生长环境, 提高微生物数量, 进而提高有机污染土壤微生物修复效率。	石油烃类污染土壤修复, 不适用于杂环芳烃等胶质含量高土壤修复	示范技术
36	铁尾矿库生态修复技术	采集分析铁尾矿的污染物含量和理化性质, 通过施加稻壳、生物炭、有机肥等改良剂改良铁尾矿的物化特性, 解决铁尾矿透气性差、土壤肥力贫瘠和土壤碱性过强等问题, 结合微生物、本地化速生草本和灌木类植物联合修复技术, 实现铁尾矿库的生态修复。	修复后, 尾矿表层有机质含量≥12g/kg, 总孔隙率≥60%, pH值降至偏中性; 植物成活率≥90%, 植被覆盖率≥98%。	采用添加腐殖质、微生物和调理剂等方法, 提高尾矿的透气性、改善植物的生长环境, 实现铁尾矿的治理和场地再利用。	碱性铁尾矿库生态修复	示范技术

序号	技术名称	工艺路线	主要技术指标及应用效果	技术特点	适用范围	技术类别
37	柔性垂直污染防控屏障系统	该技术利用竖向成槽设备在土体中垂直开槽至阻隔设计深度，期间采用泥浆护壁防止槽体坍塌，然后将两侧焊接有链接锁扣的高密度聚乙烯土工膜压至槽底，并对膜底进行防绕渗密封处理，再采用复合改性防渗材料对垂直阻隔墙体灌注回填，循环上述操作最终形成柔性垂直污染防控屏障系统。	柔性垂直污染防控屏障系统整体渗透系数 $< 1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 。防渗材料可承受 pH 值 2~12 的酸碱、Cl <sup>-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 离子及大部分有机污染物的腐蚀，抗屈服伸长率为 12%，使用寿命达 50 年。	耐腐蚀性强、渗透系数低、阻隔效果好、持续时间长、施工安装速度快，可实现对污染地块的风险阻控。	填埋场及废渣、废液池等污染场地风险阻控	推广技术

备注：

1. 示范技术具有创新性，技术指标先进、治理效果好，基本达到实际工程应用水平，具有工程示范价值；推广技术是经工程实践证明了的成熟技术，治理效果稳定、经济合理可行，鼓励推广应用。
2. 本目录基于 2020 年公开征集所得技术编制；本目录所列技术的典型应用案例见中国环境保护产业协会网站 (<http://www.caepi.org.cn>) “服务中心→国家先进污染防治技术”栏目。