

《国家鼓励发展的重大环保技术装备 目录（2025年版）》

典型案例

工业和信息化部
节能与综合利用司
2025年12月

一、研发类技术装备典型案例

(一) 大气污染防治装备

案例一：北京中科润宇环保科技股份有限公司垃圾焚烧多效合一烟气净化技术装备

一、技术适用范围

适用于生活垃圾焚烧、危废焚烧、生物质焚烧发电、钢铁烧结、焦化、水泥、玻璃制造等行业的烟气净化。

二、技术原理及工艺

催化陶瓷滤筒在中低温度窗口（ $240^{\circ}\text{C} \sim 280^{\circ}\text{C}$ ）下拥有优秀的SCR脱硝性能、负荷适应性、抗水抗硫抗氯性能、二噁英协同消解性能，采用消石灰中温区干法脱酸协同小苏打中低温区干法脱酸技术，实现全干法烟气净化、钙基脱酸剂与钠基脱酸剂干法协同脱酸、烟气余热梯级利用，具有流程短、无废水排放、脱酸剂费用低、飞灰产生量少、整个工艺中不需要烟气再热、节水节能等优点。

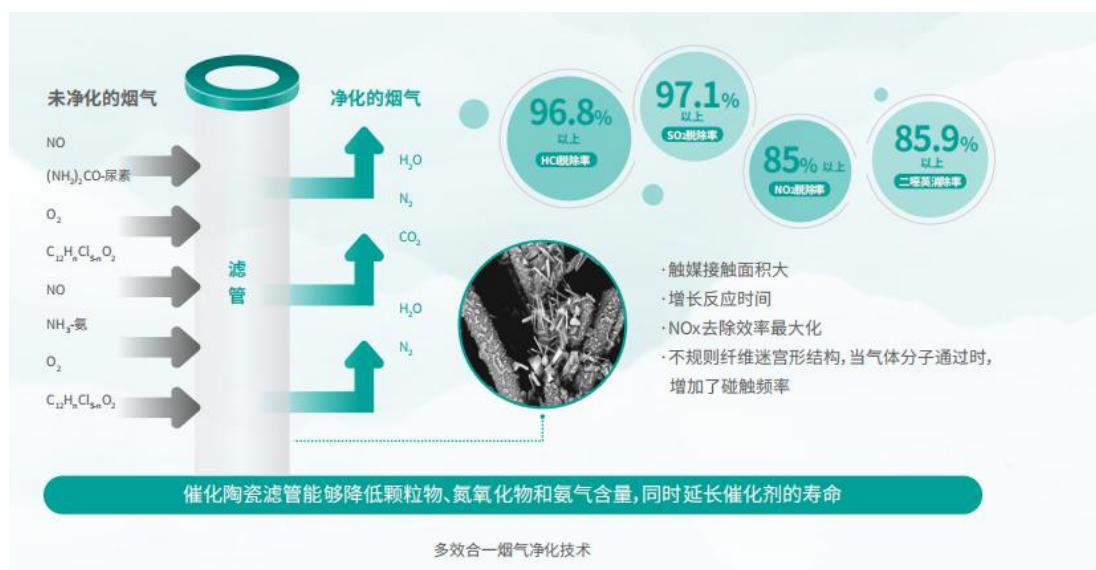


图 1 催化陶瓷滤筒工作原理

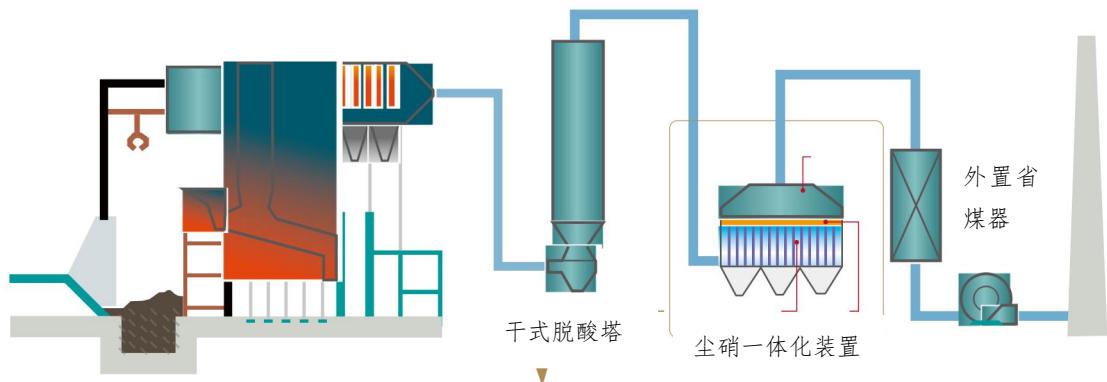


图 2 垃圾焚烧发电多效合一烟气净化技术流程示意图

三、技术指标

催化陶瓷滤筒工作温度窗口： $240^{\circ}\text{C} \sim 280^{\circ}\text{C}$ ；催化陶瓷滤筒抗水抗氯抗硫指标：含水率 $\leq 30\%$ 、盐酸(HCl) $\leq 20\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，二氧化硫(SO₂) $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；入口参数：颗粒物 $\leq 40000\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、NO_x $\leq 400\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、HCl $\leq 2500\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、SO₂ $\leq 1500\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；出口参数：颗粒物 $\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、NO_x $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、HCl $\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、SO₂ $\leq 20\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、NH₃逃逸率 $\leq 8\text{ppm}$ 、二噁英 $\leq 0.1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$ 、汞及其化合物 $\leq 0.05\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、化合物(镉、铊) $\leq 0.1\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、化合物(锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍) $\leq 1.0\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，催化剂使用寿命 $\geq 5\text{a}$ 。

四、技术特点及先进性

(一) 高效脱硝与二噁英消解：

采用催化陶瓷滤筒尘硝一体化装置，在 $240^{\circ}\text{C} \sim 280^{\circ}\text{C}$ 中低温窗口实现脱硝效率 $\geq 85\%$ ，同时催化分解二噁英（脱除率 $\geq 85\%$ ），突破传统SCR无法高效协同处理二噁英的局限。

对比传统“SNCR+SCR”组合工艺，能耗降低30%。

(二) 酸性气体深度脱除：

消石灰+小苏打协同脱酸工艺，HCl脱除效率 $\geq 98\%$ （排放浓度 $\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ），SO₂脱除效率 $\geq 95\%$ （排放浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{Nm}^3$ ），通过干

法反应可大幅降低半干法或湿法工艺的水耗，且避免湿法工艺的废水产生。

（三）负荷适应性优化：

自主研发的新型纳米催化剂最佳活性温度窗口（脱硝效率不低于85%）跨度可达180°C，能更好的适应焚烧炉的负荷波动和变化。在70%~115%负荷范围内保持稳定运行，解决传统工艺因垃圾热值波动导致的排放超标问题。

（四）工艺简化降本增效：

相比传统“SNCR+SDA+活性炭+布袋+GGH+SCR+湿法”长流程，该技术装备通过催化陶瓷滤筒一体化设备替代多级设备，系统投资成本降低25%~35%，运行能耗减少20%。

余热回收设计：烟气余热用于预热空气或发电，热能利用率提升5%~8%。

五、应用案例项目名称：绵阳市第三生活垃圾焚烧发电项目（江油市）烟气净化项目

项目所在地：四川省绵阳市江油市

项目概况：绵阳市第三生活垃圾焚烧发电项目，项目总规模为1500t/d，分两期建设。一期（本期）工程日处理生活垃圾750t，建设1条处理能力750t/d的生活垃圾炉排炉焚烧线，烟气净化系统采用垃圾焚烧多效合一烟气净化技术装备，即“余热锅炉消石灰喷射+SDS+催化陶瓷滤管尘硝一体化装置”的技术方案进行脱酸、脱硝、除尘，采用消石灰干法与小苏打干法联合脱酸工艺，首先向余热锅炉烟气温度约350~450°C的区域喷入消石灰干法，进行一次脱酸，随后锅炉出口的热烟气首先进入小苏打干法脱酸塔进行二次脱酸净化以及重金

属吸附；再后烟气进入尘硝一体化装置进行三次脱酸、除尘、重金属吸附、脱硝、二噁英分解的协同净化；最后经尘硝一体化装置净化后的烟气通过外置省煤器进行烟气余热利用，将烟气温度降温至约145°C，由引风机送至烟囱排入大气。

处理烟气量 128901Nm³/h，净化后的烟气中颗粒物、二氧化硫、氮氧化物日均排放浓度分别不高于 10mg/Nm³、30mg/Nm³、80mg/Nm³，其他污染物排放指标排放达到《生活垃圾焚烧污染控制标准（GB 18485-2014）》标准，满足目前生活垃圾焚烧超低排放标准。

项目总投入约 2800 万元，目前正在初步设计阶段，2026 年动工建设。

六、推广前景

当前生活垃圾焚烧处理能力约 100 万吨/日，超低排放改造需求覆盖 60%产能，对应设备需求 800 台；按 10%年替代率测算，2025-2030 年累计市场规模约 120 亿元。

单台处理量为 750t/d 的垃圾焚烧发电厂焚烧线为基准，单台(套)技术装备的投资成本约 2500 万元，该技术装备在基准场景下实现 3 年投资回收，行业普及 10%后年创造 14.2 亿元直接经济价值（运营节省+发电收益），带来 SO₂减排 5 万吨、HCl 减排 8.3 万吨、NO_x减排 1.3 万吨。随着超低排放政策加码，预计 2030 年前形成百亿级市场规模，成为垃圾焚烧行业绿色转型的核心支撑技术。

本技术可延伸应用至危废焚烧、生物质掺烧发电、钢铁、焦化、水泥等行业的烟气治理领域。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：北京中科润宇环保科技股份有限公司

联系人：宋雨霖

联系方式：13810230703

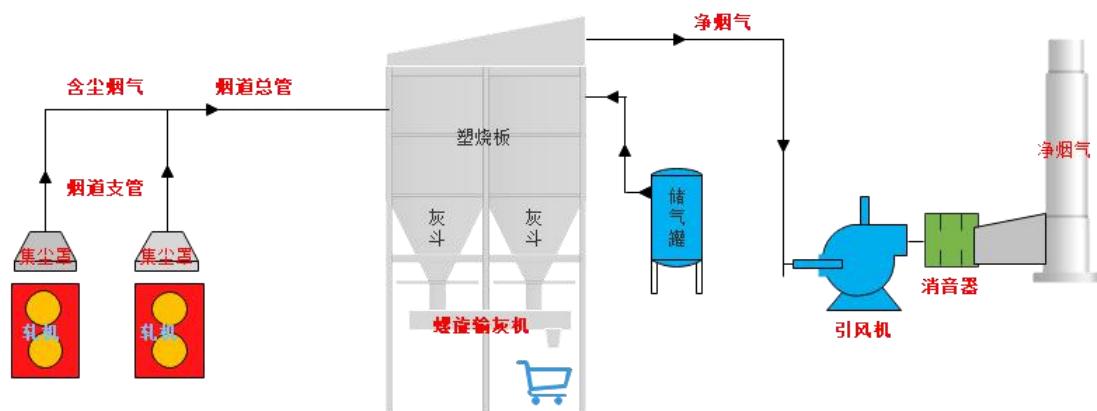
案例二：内蒙古森鼎环保节能股份有限公司塑烧板除尘器

一、技术适用范围

适用于钢铁（烧结、炼钢、热轧）、有色金属、烟草、矿山转运，皮带卸料等行业的烟气处理，达到“超低排放”标准。

二、技术原理及工艺

通过波浪型塑烧板（其内部为多孔母体，表面覆有 PTFE 涂层），粉尘在惯性碰撞、拦截效应及扩散作用下被阻留在板材表面微孔或形成尘层。PTFE 涂层的疏水性及耐化学性确保处理潮湿、粘性粉尘时不易板结。清灰时，脉冲气流逆向喷吹，利用工程力学中的瞬时动能使塑烧板弹性微振，尘层剥离。该技术综合了多孔介质过滤、表面改性及自动控制工程理论，实现高效稳定除尘。



三、技术指标

处理烟气量： $1\times10^5\text{m}^3/\text{h}\sim6\times10^5\text{m}^3/\text{h}$ （根据不同的工况）；进气温度 $\leq70^\circ\text{C}$ ，进口含尘浓度 $\leq1000\text{g/m}^3$ ；出口含尘浓度 $\leq5\text{mg/m}^3$ ；设备阻力 $\leq1800\sim2000\text{Pa}$ （根据不同的工况）；较常规布袋除尘器相比占地节约 $1/3$ ，阻力平稳（工况条件相同条件下）。

四、技术特点及先进性

(一) 表面过滤机理

塑烧板采用独特的微孔 PTFE 涂层，实现真正的表面过滤。粉尘被截留在滤材表面，无法进入内部，从而避免了像布袋除尘器因深层过滤导致的堵塞问题，设备运行阻力保持稳定。

(二) 卓越的疏水疏油性

其核心材料与涂层具有极佳的化学稳定性，能有效抗拒水分和油雾的渗透。这一特性彻底解决了传统布袋在处理潮湿、含油烟气时极易发生的“糊袋”难题，保证了在恶劣工况下的正常运行。

(三) 刚性结构与超长寿命

塑烧板为坚固的刚性整体，由高分子材料烧结而成，具有极强的抗磨损、抗冲击能力。其物理和化学性能衰减极慢，正常使用寿命可达 10 年以上，远超普通布袋（通常 1-3 年）。

(四) 超高除尘效率与超低排放

凭借均匀细小的微孔，塑烧板对微细粉尘（包括亚微米级颗粒）具有极高的捕集效率，能够持续稳定地实现 $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ 的超低排放，甚至可达 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，轻松满足最严格的环保标准。

(五) 模块化与紧凑设计

塑烧板采用波浪形（梯形）设计，在同等体积下提供了巨大的过滤面积，使得设备结构非常紧凑，占地面积小。其模块化设计也便于安装、更换与后期维护。

(六) 适应高浓度粉尘

由于其表面光滑清灰彻底，且结构坚固，塑烧板除尘器能够直接处理入口浓度高达 $500\text{g}/\text{m}^3$ 甚至以上的含尘气体，在许多工况下可省

去预除尘设备，简化了系统流程。

五、应用案例

项目名称：敬业集团第一炼钢事业部、棒材事业部除尘项目

项目所在地：河北省石家庄市平山县

项目概况：项目根据现场实际 7 条棒材生产线的产尘情况，针对 7 条棒材生产线分别进行了设计，针对每条线的不同情况，进行有针对性的工艺设计。7 套塑烧板除尘器总风量达到 $276 \times 10^4 \text{m}^3/\text{h}$ ，除尘效果明显，投入运行后，烟囱出口颗粒物排放浓度 $\leq 5 \text{mg}/\text{m}^3$ ，远低于当地规定的气体排放限值。设备阻力 $\leq 1800 \text{Pa}$ ，长期运行稳定。减少了大气环境的污染，取得了良好的环境效益。设备的免维护及长寿命特性，为客户减少大量维护成本。同时塑烧板除尘器占地面积小，为客户提高场地使用率。不存在二次污染问题，经过输灰系统排至冲渣沟进入工厂内水处理系统中集中处理。项目符合国家提倡的节能环保要求，综上，该项目具有良好的经济效益和社会环境效益。



六、推广前景

随着国家大力提倡以及国民环境保护意识的提高，除尘行业的发展也受到了空前的重视。国家于 2025 年 7 月正式实施由我公司牵头制定的《钢铁行业用塑烧板除尘器》（YB/T 6332-2024）行业标准，为产品在钢铁等高污染行业的应用提供了规范，将推动市场需求。预计未来 3 年，该技术在全国钢铁行业推广率可达 80%，甚至更高。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：内蒙古森鼎环保节能股份有限公司

联系人：关通顺

联系方式：15047202755

(二) 水污染防治装备

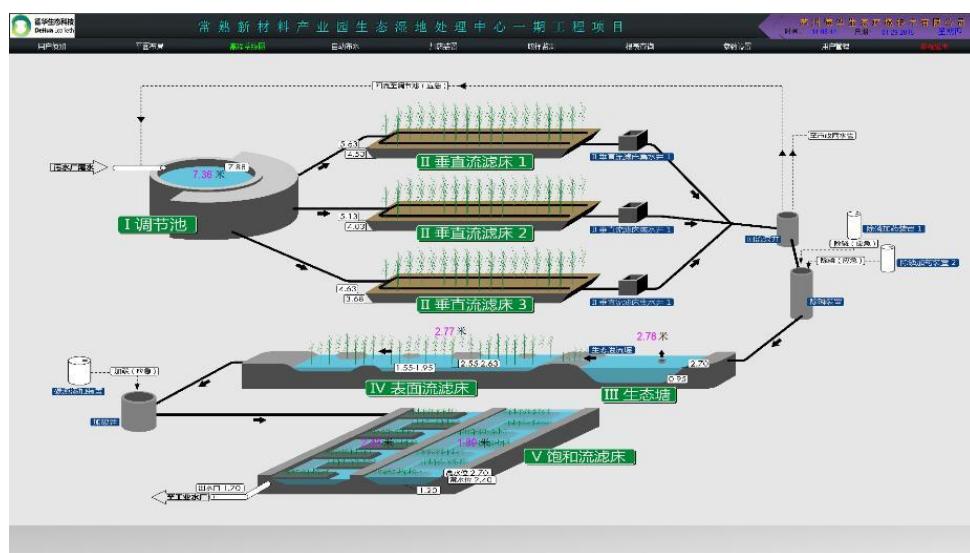
案例一：苏州德华生态环境科技股份有限公司工业区面源污染处理湿地集成装备

一、技术适用范围

适用于有工业废水尾水（含 COD、氨氮、总氮、总磷）排放处理需求的工业企业和产业园。

二、技术原理及工艺

该技术装备是一种基于自然的生态水处理技术装备，核心单元是垂直潜流湿地，实现工业区污水厂尾水的稳定处理和灵活调控。污水在湿地滤床表面均匀配水后垂直下渗，通过生物处理过程去除污染物，湿地底部设置集水系统对出水进行收集。滤床内部的核心是满足专业级配要求的生态滤料，微生物附着在滤料颗粒表面形成微生物膜，通过植物输氧和大气扩散作用将氧气带入滤床内部，促进生物处理过程。同时，该装备应用智能控制技术，通过集成定制化的智能控制设备，对水处理科技湿地实现精准、高效控制，提升对工业废水的处理效果，同时具有较好的展示与信息联动功能。



三、技术指标

本技术装备单元模块面积大、水力负荷高、出水量大；水污染削减负荷高；处理效果长期稳定。单套本技术装备日处理水量 4000 吨，湿地表面水力负荷最高可达 $2\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ；污染物指标削减负荷分别为：COD（化学需氧量） $6.4\sim18\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 、氨氮 $1.5\sim4\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 、总氮 $2.78\sim8\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 、总磷 $0.19\sim0.45\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ；可将一级 A 污水厂尾水提标至地表 IV 类水标准、地表劣 V 类面源污染提升至地表 III 类水标准；能够实现湿地长效稳定运行达 20 年。

四、技术特点及先进性

本技术装备开发了水污染智能监测分析系统，通过多点采样、实时建模、分析预测、动态分析技术，依托立体感知网络，构建“监测-建模-调控-验证”的全链条闭环智能管理体系。可解决污染源控制难题，实现污染来水动态监测和水质净化路径的动态调配。

本技术装备利用实时监测传感数据，结合净化任务及反馈数据，实现人工湿地进出水量、停留时间等智能化控制。可解决人工湿地动态管控难题，实现稳定的污染物去除效果。

五、应用案例

项目名称：4000 吨/日常熟新材料产业园高盐尾水提标湿地。

项目概况：

(一) 项目情况简介

项目位于江苏省常熟市海虞镇常熟新材料产业园海丰路东金虞路交叉口，项目建成后可将相当于地表劣 V 类水的污水厂尾水提标至优于《地表水环境质量标准（GB 3838-2002）》地表 IV 类水的水质，处理过程不添加任何化学药剂、无二次污染，出水可循环利用。

目前，案例已稳定运行超过 10 年，项目将污水处理厂达标尾水处理至地表 IV 类水标准，每年可实现的污染物减排总量分别为：COD（化学需氧量削减负荷）46.72 吨、氨氮 6.86 吨、总氮 20.26 吨、总磷 1.40 吨。

（二）项目优势

可控可测可量化：利用智能控制技术，对湿地单元水量分配、运行参数进行精细化动态调控，规范了防堵塞、低温运行等关键技术，填补国内空白。

长效稳定：本项目已稳定运行 11 年，突破了国内同类湿地普遍存在的 2~3 年就处理效率降低的致命问题。该技术可保障稳定运行 20 年以上。

固碳增汇：相比水处理工艺会产生碳排放的现状，该技术具有固碳能力；该技术具有明显的增汇效益，经测算本项目垂直流滤床湿地单位面积年均碳汇量约为 $6.87\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$ 。

社会效益：项目建成后成为当地生态文明教育基地等各类教学实践基地，承接政府参观考察、国际会议接待等，累计接待团队 2 万余人次。



六、推广前景

据 2023 年的参考数据，在 III 区内的工业污水处理需求量为 120——150 亿吨，根据公司发展计划，本技术装备计划在 3 年内实现在 III 区市场占有率达 10%，预计年处理水量 12 亿吨，预计可减少污染物排放分别为 COD 24000 吨、氨氮 4200 吨、总磷 240 吨。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：苏州德华生态环境科技股份有限公司

联系人：杜滢明

联系方式：13052896239

案例二：浙江海河环境科技有限公司塔式 A/O 生物接触氧化协同处理废水、恶臭废气关键技术及装备

一、技术适用范围

小规模分散式污水处理

二、技术原理及工艺

(一) 三相接触氧化技术：创新气液固三相非浸泡接触模式，大幅提升氧传输效率，培育高密度强降解微生物，替代传统 A₂/O/A/O 工艺，实现节能减碳、占地缩减、废水废气协同处理。

(二) 低压腔式通风供氧技术：简化装置结构，减少能耗与噪声，破解传统高压供氧系统高投资、高能耗难题，适配三相接触氧化技术需求。

(三) 高效污染物去除微生物：筛选培育 3 株专用菌株 (ZM16、ZM19/ZM20、ZM17)，分别实现磷、氮及氮磷协同高效去除，获发明专利授权，已应用于多类污水治理。

(四) 塔式垂直一体化处理装备：整合多处理工序，搭配无堵塞均匀布水专利，推出多款一体化装置，结构紧凑、节省场地，适配不同污水治理场景。

(五) 新型微生物载体填料及安装机构：采用聚氨酯泡沫海绵带状填料，解决污泥沉积问题，生物膜容积比提升 3 倍以上，降低供氧成本并协同除臭。

(六) 常压高氧 AO 塔联合处理技术：A/O 段垂直一体化设计，同步处理有机废水与恶臭气体，排气达标，兼具高效、节能、节地优势。

各项技术相互适配，形成从核心工艺、装备到微生物的完整解决

方案，广泛适用于城乡生活污水、工业废水及废气治理。

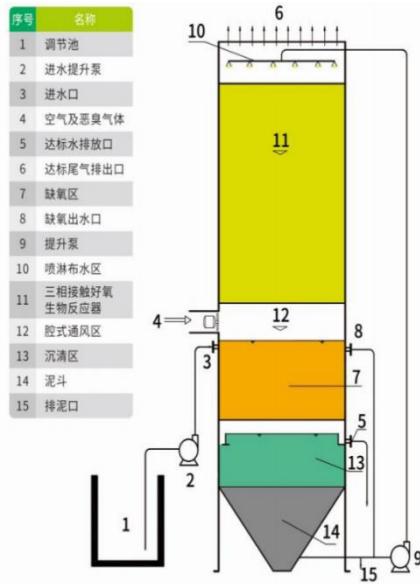


图 1 污水处理系统工艺结构示意图

三、技术指标

1.O 段污染物 (C、N) 去除容积负荷增加 $\geq 20\%$ 以上； 2.供气设备节能 $>50\%$ ，AO 两段综合节能 30%，吨水供氧能耗 $<0.1\text{kw.h.}$ ； 3.用于农村污水处理终端:综合占地节约 64%;用于城镇污水处理厂:A、O 两段占地节约 66%； 4.AO 两段综合造价节省 10-20%； 5.风机压力 $<0.30\text{kPa}$ 、生物膜触氧浓度 $>5\%$ ； 6.A/O 塔塔顶排气恶臭污染物达到《恶臭污染物排放标准》(GB1414554-1993)； 7.风机及供风系统噪声降低 20 分贝； 8.出水指标达到 (GB18918-2002) 的一级 A 标准。

四、技术特点及先进性

与浙江大学合作研发的常压高氧微生物，使污染物去除容积负荷提升 30%以上，出水优于浙江农村污水一级排放标准，COD、氨氮达地表水标准，可多元回用。技术实现水气共治，同步处理污水与臭气，终端周边无异味。采用塔式结构、电风扇替代高压风机等设计，

节地 65%、节电 70%，建设投资省 15%，运行费用省 25%以上。配套光伏发电可实现用电平衡，助力碳中和。装备支持在线监测与远程控制，拥有三相接触、AO 塔等多项自主专利。经候立安院士领衔的权威专家鉴定，核心技术达到国际领先水平。

五、应用案例

项目名称：200 吨/日房式高浓度氮磷农村污水达标处理永康市古山镇金江龙“小五金加工特色村污水处理示范项目”

项目所在地：永康市古山镇金江龙村

项目概况：

古山镇金江龙村就是典型的小五金加工特色村,五金加工点排放的废水中,氨氮、磷浓度高。为提升农村污水处理达标率,永康市建设局引进浙江海河环境科技有限公司研发的塔式 A/O 接触氧化技术,并配套建设“小五金加工特色村污水处理示范项目”。

在 80m²/d 终端原址改造,扩容后不新增建设用地,场地噪声、臭气达到国家标准。中国环境报、浙江日报作了“新技术让治污更有效”等专题报道。

表 1 金江龙村污水排放检测值

控制项目名称	一级标准	进水检测值	出水检测值
pH	6-9	7.3	6.3
COD(mg/L)	60	158	38
NH ₃ -N(mg/L)	15	77.1	10.2
总磷(mg/L)	2	5.49	0.65
悬浮物(mg/L)	20	12	5



图 2 200 吨/日房式高浓度氮磷农村污水达标处理永康市古山镇金江龙村示范点

六、推广前景

以服务 500 人 50t/d 计，投资 30-50 万元，占地 50-300m²，能耗 1.37Kw，运行费 1 万元/年。节约投资>20%、土地>70%、电>60%，减碳 17.47 吨/年，尾水回收率>70%，扩绿保绿面积 75 亩。万吨废水节约电耗 860 度，相应 CO₂ 减排 750kg。

经过工程实践分析，农村污水处理终端以 50m³/d 装置计，制作成本 20 万元/套，销售价 30 万元；城镇污水，按处理能力 1000m³/d 装置测算，制作成本 260 万/套、销售价 480 万。合计每年产值 2.3 亿元，利税 0.65 亿元，其中税收 975 万元，拥有较好的社会经济效益。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：浙江海河环境科技有限公司

联系人：蒋正海

联系方式：13957968001

(三) 固体废物处理

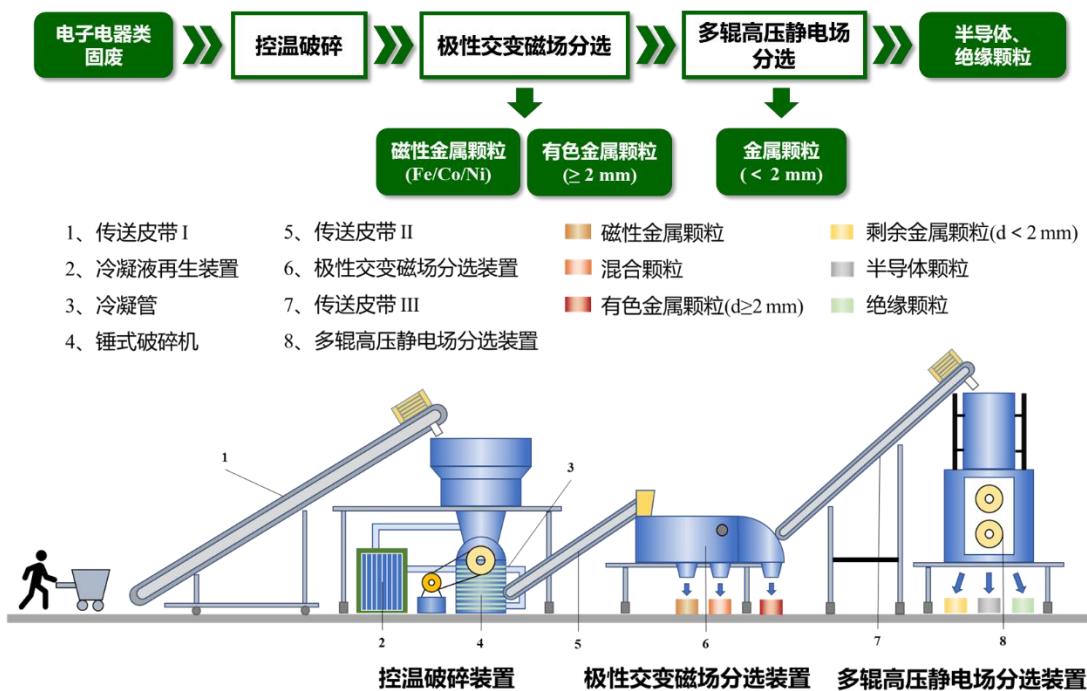
案例一：中山大学电子电器类固废解离-分选技术及装备

一、技术适用范围

适用于如废电路板、废冰箱等电子电器类固废的金属资源化处理。

二、技术原理及工艺

电子电器类固废经精准控温破碎预处理使各组分解离，充分解离后的混合颗粒进入极性交变磁场，磁性金属颗粒进行磁性分离，有色金属颗粒进行涡电流分选，再利用多辊高压静电场分选出剩余金属颗粒、半导体和绝缘颗粒。



电子电器类固废解离-分选技术及装备技术路线及工艺流程图

三、技术指标

控温破碎：破碎温度 $<80^{\circ}\text{C}$ ，污染物排放量减少 99%；

极性交变磁场分选：有色金属($2 \text{ mm} < d < 20 \text{ mm}$)分离率 $\geq 98\%$ ；

多辊高压静电场分选：微小尺寸金属颗粒($d < 2 \text{ mm}$)分离率 $\geq 98\%$ 。

四、技术特点及先进性

研发了控温破碎解离技术及装置将破碎机温度控制低于 80°C ，可减少破碎过程中毒害气体的释放，实现电子电器类固废绿色解离；发明了极性交变磁场分选机，优化了磁场强度空间结构及操控参数，实现磁性金属、有色金属分选二合一；所研发的极性交变磁场分选机可实现小尺寸有色金属分离，使传统涡电流分离技术的粒径范围由 $5\text{-}20 \text{ mm}$ 扩展到 $2\text{-}20 \text{ mm}$ ，提高有色金属分离率至 98% 以上；开发了多辊高压静电场分选技术及装置，通过“一次进料、多场串联分选”，金属分离率由 90% 提高至 98% 以上。

五、推广前景

电子电器类固废解离-分选技术及装备创新性地提出了精确控温破碎解离、极性交变磁场分选、多辊高压静电场分选技术体系，适用于电子电器类固废金属资源化处理，同时显著降低了金属回收过程污染物释放量，并大幅提升了金属分离率，具有显著的经济、社会、环境效益，技术推广前景良好。基于电子电器类固废回收处理产业化进程加快，未来三年将通过产学研合作继续推广技术装备，预计行业推广率达 15% ，预期实现年销售额突破 5 亿元。

六、支撑单位信息

支撑单位名称：中山大学

联系人：阮菊俊

联系方式：13901458307

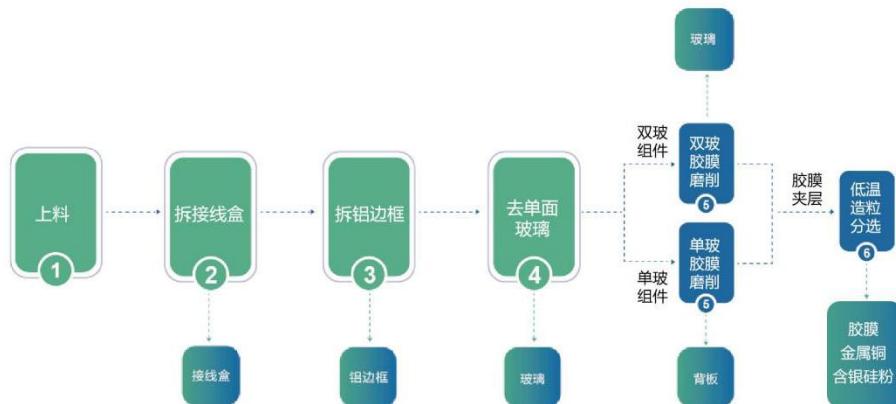
案例二：意诚智造（苏州）科技有限公司基于智能化精细回收技术的退役光伏组件拆解装备

一、技术适用范围

适用于可再生能源行业，具体应用场景为光伏组件回收企业、光伏制造企业、区域性废弃资源处理中心或园区等，可实现光伏组件的绿色、高效拆解。

二、技术原理及工艺

本技术基于物理分离与智能控制原理，通过对退役光伏组件结构特征与层压粘结机理的精准解析，耦合多物理场作用机制，构建了智能感知与自适应控制算法，形成“力—速—温”一体化闭环调节体系，实现组件接线盒、铝边框、玻璃、胶膜、铜等多组分材料的高效分离与完整回收。实现了退役光伏组件的高值化再生利用，有效攻克了传统热解与化学处理工艺的技术瓶颈，兼具低能耗、零污染与高回收率的特征，为光伏产业链构建全生命周期循环利用体系提供了关键技术支撑。



技术路线图

三、技术指标

接线盒：拆除率 100 %；铝边框：拆除率 100 %，纯度 $\geq 99 \%$ ；
玻璃：剥离率 $\geq 98 \%$ ，纯度 $\geq 99 \%$ ；背板：纯度 $\geq 99 \%$ ；胶膜粉：
分离率 $\geq 95 \%$ ，纯度 $\geq 92 \%$ ；金属铜颗粒：分离率 $\geq 97\%$ ，纯度 $\geq 99 \%$ ；
银硅粉：分离率 $\geq 97 \%$ ，硅纯度 $\geq 90\%$ 。

四、技术特点及先进性

本技术装备集绿色高效、智能化与模块化于一体，创新实现纯物理法的逐层剥离技术。系统深度集成 AI 智能识别、远程监控与智能调度模块，可兼容多规格单/双玻组件，实现拆解效率 ≥ 45 块/小时、年处理能力超 1 万吨。整线支持集装箱化部署与现场快速落地，整体成本降低超过 30 %，全面展现出“绿色低碳、智能高效、柔性可拓展”的装备创新优势。

五、应用案例

项目名称：湖北省荆州市监利市荒湖农场监利一期“组件回收关键技术开发及产业化应用”项目。

项目概况：

(一) 用户用能情况简单说明

项目应用物理法绿色高效拆解技术，投资规模 1000 万元。单条拆解线能耗 170 kWh，相比热解法处理降低 45 %。年处置报废光伏组件超万吨，综合回收率超 96 %，年减排 CO₂ 达 6.59 万多吨，相当于 1129 万棵树一年平均吸收的 CO₂ 量。

实施内容及周期

1.采用机械式的上料拆盒、铝边框拆除、玻璃剥离以及胶膜层剥离等设备，取代传统人工拆解、热解法或化学处理，实现光伏组件各

成分的高值化回收再利用。

2.应用移动式集装箱回收工厂，替代固定式定点工厂，具备快速运输、现场部署优势，可实现废旧组件现场拆解处理并降低运输成本超 30%。项目实施周期 12 个月。

六、推广前景

简要描述推广前景，不超过 300 字，尽量包含未来 3 年内可实现的年产值、年销售量、主要污染物年减排量等信息。

“双碳”目标下，光伏作为可再生能源的重要组成部分，迎来了快速发展。与此同时，光伏组件规模化退役浪潮即将来临，据中国绿色供应链联盟预测，到 2030 年我国光伏组件累计退役量将超过 400 万吨，实现光伏组件的绿色高效循环利用迫在眉睫。预计未来五年，该技术装备的全国市场占有率将超 50%，总营收超 20 亿元，年碳减排量不少于 1318 万吨。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：意诚智造（苏州）科技有限公司

联系人：张鑫

联系方式：15189181191

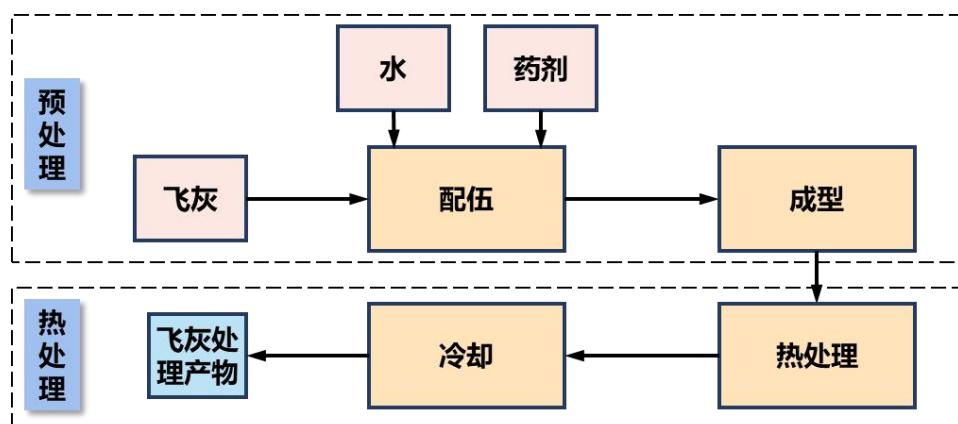
案例三：深圳市航天新材科技有限公司生活垃圾焚烧飞灰制人造骨料技术装备

一、技术适用范围

生活垃圾焚烧飞灰的资源化利用。

二、技术原理及工艺

该技术装备是面向生活垃圾焚烧飞灰资源化利用的成套系统，集物料配伍、造粒成型、热处理及降温冷却等功能单元于一体，实现飞灰处理过程的连续化、可控化和安全化。在中温条件下，飞灰与配伍药剂材料发生热固相反应，通过局部熔融与晶格重构形成特定结构的矿物岩相。该结构不仅可有效固封飞灰中的重金属，显著降低其在使用环境中的浸出风险，且可增强人造骨料的力学性能，从而保证其在混凝土、道路基层及回填等工程应用中的应用可行性。采用该技术装备处理后，焚烧飞灰转为可安全使用的建筑材料，实现了危险固废的无害化、减量化与资源化利用。



处理工艺流程图

三、技术指标

1 设备处理能力：10-20 吨飞灰/天，资源化产物中飞灰掺量

30-70%;

2 飞灰基人造骨料产品性能：筒压强度不低于 2.0MPa；二噁英类含量不超过 50 ng-TEQ/kg；重金属浸出浓度(HJ/T 299 法)Zn<2 mg/L、Pb<1 mg/L、Cd<0.1 mg/L、Ni<1 mg/L、Cu<0.5 mg/L。

四、技术特点及先进性

该技术装备以多源固废配伍技术、焚烧飞灰重金属长效稳定技术和焚烧飞灰资源化技术为设计底层技术核心，实现焚烧飞灰的深度解毒，通过晶格固化长效稳定飞灰中的重金属，彻底分解二噁英。飞灰基人造骨料制备采用中温热处理工艺，工艺温度适中，能耗低。

五、推广前景

2024 年我国城市生活垃圾焚烧飞灰产量已超过 1000 万吨，目前焚烧飞灰的消纳路径仍以填埋处置为主，资源化利用率低。随着国家“无废城市”建设和危险废物“减量化、资源化、零填埋”政策的深入实施，各地对焚烧飞灰资源化利用的关键装备和技术需求迫切。

生活垃圾焚烧飞灰基人造骨料制备装备以中温成岩为核心技术，具备高效解毒、低能耗等优势，适合在城市垃圾焚烧厂及区域固废处置中心推广应用。预计未来三年，该技术装备在全国推广率达到 15%，预计每年销售 60 台，年产值 4~6 亿元，平均每年可减少焚烧飞灰填埋量约 50 万吨。

六、支撑单位信息

支撑单位名称：深圳市航天新材科技有限公司

联系人：郭悦

联系方式：18688833766

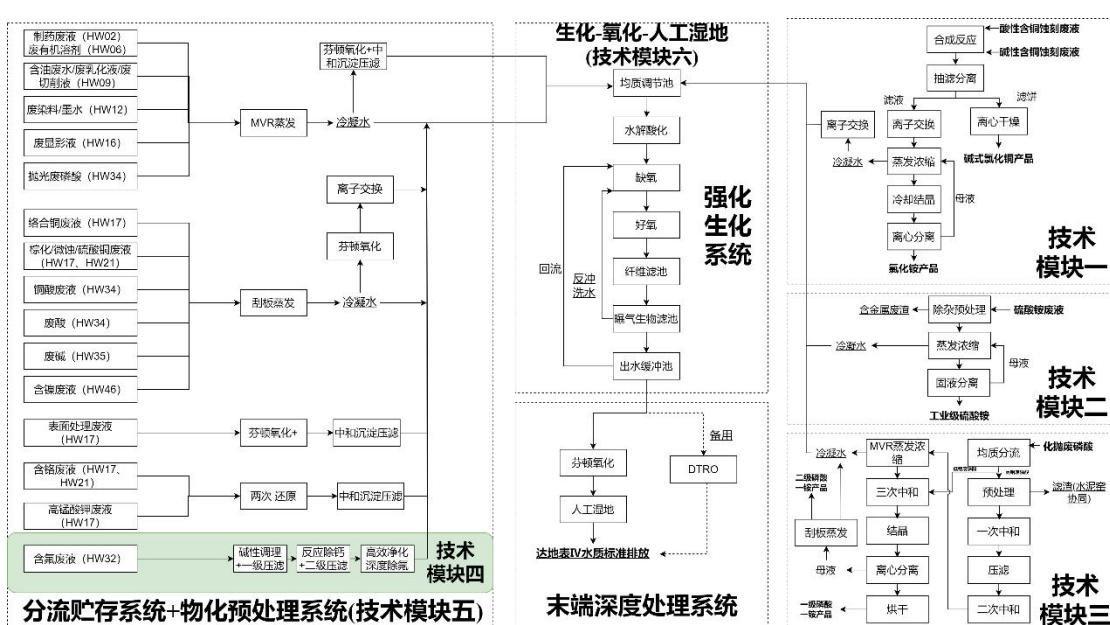
案例四：深圳市环保科技集团股份有限公司多源复杂工业危险废物高 值化利用及无害化处置关键技术

一、技术适用范围

生物医药、半导体和芯片等工业危险废液的高值化利用和无害化处置。

二、技术原理及工艺

该技术充分利用中和沉淀、压滤/离心分离、氧化还原、离子交换、反渗透和生物降解等基本原理，耦合反应釜、板框压滤机/离心机、芬顿氧化、离子柱、DTRO、生化装置及成套人工湿地系统等技术装备。通过上述原理与装备的协同作用，一方面实现氮磷等有价值元素的定向分离与高值转化；另一方面对多来源无价值工业危险废液中有机物、氮磷及多种重金属离子等污染物进行梯级去除，最终保障固体废渣安全处置，终端排水水质达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）IV类标准。



工艺流程简图

三、技术指标

(1) 氮磷资源化产品执行的技术标准：氯化铵产品符合《工业级氯化钠产品》(GBT 2946-2018)标准；磷酸一铵产品符合《工业磷酸一铵产品》(HG/T 4133-2010)和《农业级磷酸一铵产品》(GB 10205-2009)标准；硫酸铵产品符合《工业级硫酸铵》(HG/T 5744-2020)标准。

(2) 排水：终端排水水质达《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)IV类标准、《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)中的第二时段一级标准中的较严者。镍离子浓度满足《电镀水污染物排放标准》(DB 44/1597-2015)要求的排放浓度限值 0.1 mg/L，其中六价铬、镉和汞不得检出。具体如下： $\text{COD} \leq 30 \text{ mg/L}$, $\text{Cu} \leq 0.5 \text{ mg/L}$, $\text{Ni} \leq 0.1 \text{ mg/L}$, 总 $\text{Cr} \leq 0.05 \text{ mg/L}$, $\text{F}^- \leq 1.5 \text{ mg/L}$, $\text{NH}_4^+ \text{-N} \leq 1.5 \text{ mg/L}$, 总磷 $\leq 0.3 \text{ mg/L}$, 六价铬、镉、汞不得检出。

四、技术特点及先进性

一是开发含氨氮废水、硫酸铵废液和化抛废磷酸等工业危险废液“高值化利用+次生废水无害化”全流程工艺，回收制备氮磷产品，协同深度净化氮磷。二是构建梯级处理工艺，稳定实现出水 $\text{F}^- \leq 1.5 \text{ mg/L}$ 。三是开发多元组合工艺，适应复杂危废处理需求并提升抗冲击能力。四是首创“芬顿氧化-屋面人工湿地”深度处理工艺，解决高盐净化难题，实现终端排水水质达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)IV类水质排放标准，同步实现土地集约与生态集成。

五、应用案例

项目名称：宝安环境治理技术应用示范基地多源复杂工业危险废

物高值化协同高标准无害化处置示范项目

项目地点：深圳市宝安区松岗街道江边社区江畔路 388 号。



宝安应用示范基地全景图

项目概况：

宝安环境治理技术应用示范基地项目总投资 10.36 亿元，占地面积 5.5 万平方米，设计规模 33 万吨/年。多源复杂工业危险废物高值化协同高标准无害化处置示范项目（本项目）为宝安环境治理技术应用示范基地项目的关键技术模块，可处理 13 大类工业危险废液，包括 HW02 医药废物、H06 废有机溶剂与含有机溶剂废物、HW09 油/水、烃/水混合物或乳化液、HW12 染料、涂料废物、HW16 感光材料废物、HW17 表面处理废物、HW21 含铬废物、HW22 含铜废物、HW32 无机氟化物废物、HW34 废酸、HW35 废碱、HW46 含镍废物、HW49 其他废物。本项目含氮磷废酸的资源化利用以及工业危险废液的高标准无害化处理，实现终端排水水质优于《地表水环境质量标准》

(GB3838-2002) IV 类水。

2021-2024 年期间，服务大湾区电子信息、机械制造、新能源、生物医药等行业的企业客户超 8000 家，累计处理危险废物超 35 万吨。

六、推广前景

随着芯片、半导体和光伏等产业上游行业的快速发展，含铜蚀刻废液、化抛废磷酸等工业危废产量持续增长，环保治理设施面临污染物来源广、因子多且浓度波动大及提标改造的双重压力。多源复杂工业危险废物高值化利用协同高标准无害化处置关键技术，在战新行业危废资源化及多来源难降解危废集中高效、高标准无害化处理上优势明显，可复制推广。预计未来 5 年内，五大技术在重点行业普及率达 20%-40%，处理量覆盖 40% 潜在市场。按此计算，年减排氮磷及氟化物超 22.32 万吨，且 COD 减排 1.33 万吨/年、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 减排 150 吨/年、TP 减排 8 吨/年、金属离子减排 335 吨/年，资源化与无害化效益突出，市场推广前景十分广阔。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：深圳市环保科技集团股份有限公司

联系人：唐瑜钟

联系方式：13723713457

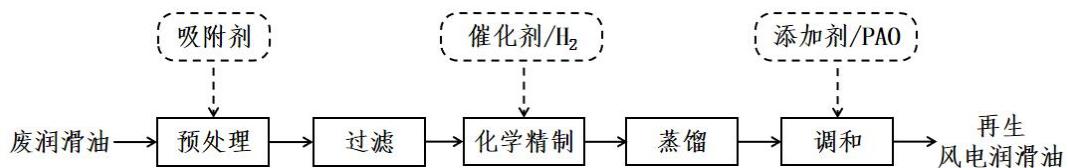
案例五：国能龙源环保有限公司废风电润滑油资源化再生技术及装备

一、技术适用范围

适用于废风电润滑油资源化再生利用。

二、技术原理及工艺

针对废风电润滑油，开发了“预处理-化学精制-蒸馏-调和”的专有再生技术。首先通过吸附剂预处理选择性脱磷，利用吸附剂表面活性位点（如酸性点）与磷化合物（主要源自 ZDDP 添加剂降解）发生强化学吸附，高效去除这一后续加氢催化剂的致命毒物；随后进行加氢精制，在高温高压及催化剂作用下，使油品与氢气反应，通过加氢脱硫（HDS）、加氢脱氮（HDN）、加氢脱氧（HDO）及加氢脱金属（HDM）等反应，深度脱除残留的硫、氮、氧杂质及微量金属，饱和和烯烃和部分芳烃，并轻度裂解大分子，从而显著提升基础油的安定性、颜色和粘温性能；加氢产物再经蒸馏分离轻重组分后，产出高品质再生基础油；最后通过调和技术，将再生基础油与新 PAO、添加剂、粘度指数改进剂等按比例混合，经充分均质化，最终调和成合格润滑油产品。



工艺流程图

三、技术指标

外观透明（色号≤6.0）；黏度指数≥80；残碳<0.6；酸值，

mg(KOH)/g≤1.0。

四、技术特点及先进性

该项目针对废风电润滑油再生利用，研发了废风电润滑油预处理技术、化学精制技术、再生基础油调和技术，构建了废风电润滑油再生利用关键技术及核心装备全链条技术体系，有效解决了废风电润滑油的处置及资源化利用难题，技术创新程度高。采用该技术生产的再生润滑油基础油，性能接近新 PAO，再生效果全面优于国内采用物理再生技术的厂商，调和后的再生风电润滑油满足风机的性能要求，技术指标先进。

该技术可适用于多品牌的废风电润滑油，实现废风电润滑油的再生与资源化利用。预处理技术实现了对原料中复杂含磷残余添加剂的高效脱除，化学精制技术使经预处理后的润滑油与氢气发生深度反应，显著提升再生基础油的性能，再生基础油调和技术全面恢复并赋予再生润滑油相应关键性能，可得到合格的再生风电润滑油产品。该技术以装备集成化、排放极限化、产品高值化为核心，成功实现废风电润滑油的再生利用，将废风电润滑油变废为宝，为新能源行业提供绿色循环技术范本。

五、推广前景

按 2030 年装机 800GW、机组平均 5MW 估算，运行机组总数约 16 万台，传统换油周期为 3-5 年，按单台年均废油量 0.6 吨估算，预估 2030 年废油处置量将增至 10-14 万吨。随着风电“退役潮”临近，叠加政策对风电设备绿色更新的推动，该技术预计在 2030 年覆盖 50% 的风电场废油处理市场，年处理废油量将达 5 万吨。

按年处置 1 万吨废风电润滑油进行经济分析，节省危废处理价格

5000-7000 元/吨，节省新油采购成本预计 3 万元/吨，回收率按 65%，每吨附加值 2.5 万元，直接利润可达 2.5 亿元。并且，可实现碳减排 2.3 万吨 CO₂ 当量，危废削减 0.65 万吨。

六、支撑单位信息

支撑单位名称：国能龙源环保有限公司

联系人：布雨薇

联系方式：19800360665

案例六：新源劲吾（北京）科技有限公司全彩微图层技术成套装备

一、技术适用范围

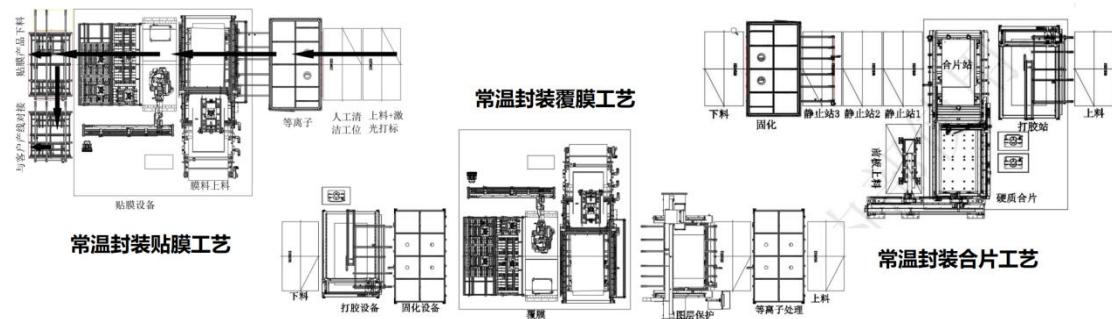
适用于全彩光电功能材料及退役光伏组件综合利用。

二、技术原理及工艺

全彩微图层技术简称 CMT 工艺技术，利用微图层算法，控制反射层的厚度变化及彩色层的限定区域出墨技术，与光伏组件本身的黑色底色，形成对光的穿透率与色彩饱和度的平衡，达到组件彩色化后最少的功率损失，多层次薄层加工，及渐变厚度与色彩对应模式，对彩色层透光度达成均匀化及最大化，达到高透光高牢度不产生热斑效应的彩色薄膜技术。

常温封装技术拓展退役光伏组件的应用场景，赋予退役光伏组件新的功能，同时也可用于 BIPV 建筑的彩色化，满足客户的多样化需求。按照工艺路线可细分为三种封装技术：常温贴膜封装技术、常温覆膜封装技术和常温合片封装技术。常温贴膜封装技术是在光伏组件表面增加彩色保护膜，通过该方式可有效增加组件的防爆性能，防止玻璃破碎时飞溅，同时采用贴膜技术，色彩及图案更换方便快捷，牢固度更高，大幅降低了运输及时间成本。常温贴膜封装技术的敷设精度可满足膜到组件边缘的实际尺寸与目标尺寸偏差-2mm 到 0mm，且利用该技术可满足全彩光电功能材料上图层的贴合平整无气泡、褶皱；常温覆膜封装技术是在光伏组件表面增加彩色保护膜，与贴膜技术不同的是，采用无背胶薄膜作为保护膜，其采用特殊黏合剂作为中间层，更加牢固。防玻璃飞溅效果更好，更为安全。同时由于色彩在薄膜内

侧，其质保时间更长。常温覆膜封装技术的敷设精度可达到膜到组件边缘的实际尺寸与目标尺寸偏差-2mm 到 0mm。且利用该技术可满足全彩光电功能材料上图层的贴合平整无气泡、褶皱；常温合片封装技术为玻璃或者亚克力等硬质材料与无边框组件采用特殊黏合材料封装在一起，该技术是新一代的封装方式，可对既有组件进行常温再封装，封装制程无高温节约能源，同时增强组件的抗风压能力、是对 BIPV 建筑彩色化的特殊应用，且利用该技术可满足全彩光电功能材料上图层的贴合平整无气泡。



工艺流程及主要设备

三、技术指标

全彩微图层成色设备分“板式”与“卷式”两款，均满足 MTBF>500 h、控制精度≤0.05 mm、图层厚度 0–0.05 mm、分辨率 2540 dpi、制作速度 200 m²/h 的同一高水平。板式机重≤3.5 t，喷头作业面≥3.2×2 m，平台承重 400 kg，可一次性对 2.3×1.2 m 光伏组件或 3.2×2 m 前板玻璃完成高透光彩化，发电降幅<20%，无热斑；卷式机重≤2.5 t，台面宽≥3.4 m，专用于薄膜卷材连续加工，长度不限，卷重≥200 kg，功能指标与板式一致，图层经 -40~80 °C 冲击、500 h 紫外、48 h 盐雾、8H 刮擦、百格 1 级等全项耐候测试，玻璃附着

$\geq 40 \text{ N/cm}^2$, ETFE 附着 $\geq 60 \text{ N/cm}^2$, 可见光透过率最高 85%, 紫外线穿透率降低 50% 以上。

常压封装系列设备定位精度 $\pm 1 \text{ mm}$ 、敷设精度 $-2\sim 0 \text{ mm}$ 、节拍 90–160 s、噪音 $< 80 \text{ dB}$, 等离子处理达因值 ≥ 55 、均匀性 $\geq 90\%$, 打胶流量 0.1–10 g/s 可调, 图层保护涂布 5–200 μm 、速度 $\geq 20 \text{ m}^2/\text{h}$; 真空系列在 65 dB 低噪下开机率 $\geq 98\%$, 兼容 $1.2 \times 0.6 \text{ m}$ 至 $2.3 \times 1.2 \text{ m}$ 全尺寸组件, 裁切/铺设精度 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 、重复误差 $\leq 1 \text{ mm}$, 可与 MES 实时交互。离线裁切机最大卷径 850 mm、卷重 600 kg, 色标追踪与纠偏精度均达 0.1 mm; 真空图层保护机配置 8 个柯尼卡喷头, 支持 160 m^2/h 高速喷绘, 户外油墨 5 年耐候无 VOC; 二次固化机 UV-LED 灯 $\geq 710 \times 120 \text{ mm}$, 速度 5–25 m/min 变频可调, 步进精度 0.1 mm。全线良率 $\geq 99.5\%$, 为退役光伏组件彩色高值化利用提供高精度、高可靠、低能耗的成套装备支撑。

四、技术特点及先进性

全彩微图层技术成套装备以“全彩微图层技术+常温封装技术”为依托, 首创退役光伏组件彩色化梯次利用工艺, 在常温下把废组件转化为高透光、无热斑、可发电的全彩光电功能材料, 使用寿命与建筑同周期。

五、应用案例

项目名称: 北京城市副中心 M101 炫彩多功能自发电围挡项目。

项目概况:

(一) 用户用能情况简单说明

本项目成功建成北京市首例大规模全彩光电围挡系统, 总长度

450 米，使用 520 块退役光伏组件，年均发电量约 124139kWh，可等效减少碳排放 103 吨。围挡可实现长时间发电，亮化施工现场、同步展示城市建设宣传内容，显著提升市民对施工环境的满意度与项目形象。

（二）实施内容及周期

本案例项目为北京副中心地铁施工重点项目，结合北京市相关部门的管理要求，建设工程施工现场周边连续、密闭的全彩光电围挡，总长度为 450 米，该项目是全彩光电功能材料在副中心城市建筑中第一次大规模应用，展现了全彩光电与交能融合的新势力，获得官方媒体重点宣传。通过专业的设计，在城市建设过程中，施工过程更符合市民对城市亮化措施、城市美化、文明施工的要求。光伏围挡模块式组装拼接可满足建筑施工区域与非施工区域的有效隔离，外立面表面图案、标语可根据现场需求进行定制，实现隔离与宣传功能的统一。同时高端围挡的绿电效应，有效调节施工过程中的用电需求。完全符合国家关于新质生产力、双碳指标的要求，实现了环境效益与经济效益的双重提升。相比于传统的建筑围挡来说，该光伏围挡不仅满足了市民对施工环境美化的需求，更通过其独特的受光面光伏发电功能，显著提升了产品附加值。实施供货周期 12 个月。

六、推广前景

全彩微图层技术成套装备紧贴“双碳”与“无废城市”国家战略，恰逢光伏退役潮爆发窗口。国际可再生能源署预测，2030 年我国废弃组件将达 150 万吨，2050 年突破 2000 万吨，而当前合规回收率不足 20%，高值化利用几乎空白。该装备把废组件直接转化为可发电、可装饰、可显示的全彩光电建材，兼具发电收益与美学价值，单台年处

理 1 万吨，投资回收期仅 1.3 年。随着 BIPV、城市更新、交能融合、乡村振兴等政策加速落地，彩色光伏建材在新建建筑、既有屋顶、高速隔音墙、智慧公交站亭、零碳村委会等场景将形成千亿级增量市场。预计全彩微图层技术成套装备将成为光伏固废“变废为宝”的核心通道，推广空间巨大、前景确定。



七、支撑单位信息

支撑单位名称：新源劲吾（北京）科技有限公司

联系人：韩远新

联系方式：18501364614

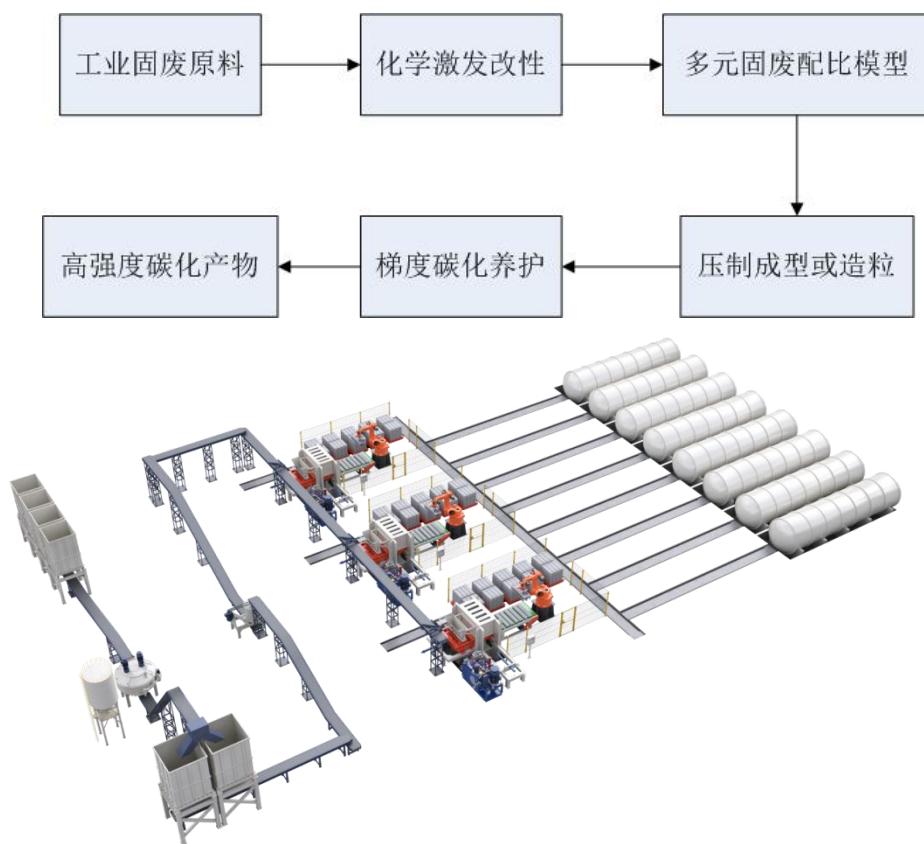
案例七：河南省机械院机械装备股份有限公司镁渣与二氧化碳高效协同处置成套装备

一、技术适用范围

适用于工业镁渣及工业尾气二氧化碳排放行业。

二、技术原理及工艺

本装备以镁渣、粉煤灰、炉渣、电石渣等工业固体废弃物为原料，经过化学激发（弱碱）提升镁渣水化活性和 CO₂ 矿化效率，建立镁渣-炉渣-粉煤灰-电石渣的多元固废配比模型，优化钙镁硅含量比例，确保碳化反应充分性及产物强度稳定性，加工成砖块或颗粒，经二氧化碳养护，使之内部发生充分的碳化反应，制备符合 JC239-2014《蒸压粉煤灰砖》标准的新型墙体材料和密度在 500~1000kg/m³ 之间，强度达到 MU10 以上的轻质骨料。如下图：



三、技术指标

镁渣年利用量：30万吨；废渣再生利用率：100%；CO₂年固定量：4.5万吨；CO₂尾气净化率：≥98%。

四、技术特点及先进性

设备名称	关键技术参数	功能说明
AI 配料系统	计量精度：±0.5% 配比调整频次：5 次/min	实时优化固废混合比例
全自动液压压砖机	压力：1280t 成型周期：15s/38 块	单机年产能：碳基标砖（240×115×53 mm）6000 万块
多级碳化养护釜	容积：160m ³ 耐压：3.0MPa 温控精度：±2°C	三阶段梯度碳化核心装备

五、推广前景

经济效益：100条产线年产值126亿元，降低建材行业碳减排成本40%（当前碳捕集成本≥500元/t）；

带动装备制造业增长150亿元/年（按设备造价1.2亿/条计）。

社会效益：单线创造就业120人（技术岗30%+操作岗70%）；减少镁渣堆存占地45亩/年·线（堆高10米计）。

六、支撑单位信息

支撑单位名称：河南省机械院机械装备股份有限公司

联系人：黄佩

联系方式：18903842056

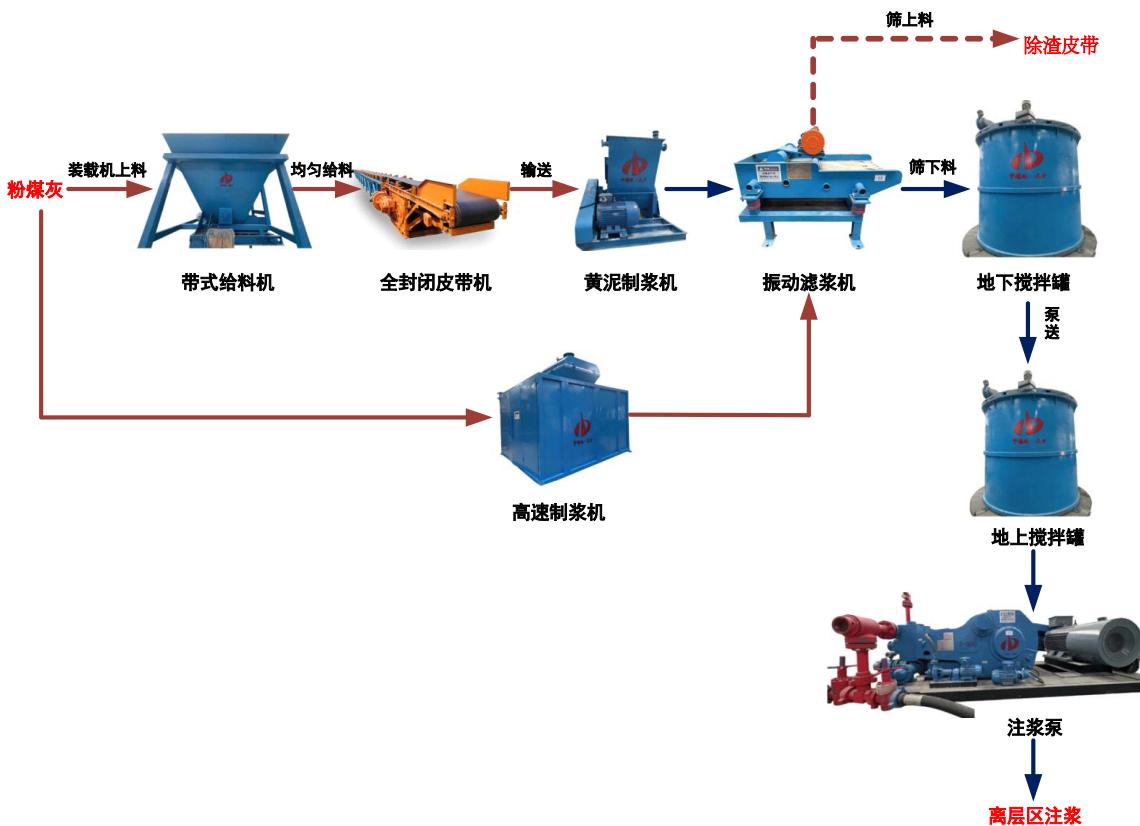
案例八：江苏远方动力科技有限公司矿区生态修复固废处置一体化设备

一、技术适用范围

适用于煤矸石固废处置、采空区治理、地质灾害治理、矿山应急救援等领域的井下浆液输送及环保治理工程，可显著提升作业效率，降低维护成本，减少能源消耗，符合国家绿色矿山建设与智能制造发展战略。

二、技术原理及工艺

矿区生态修复固废处置一体化设备通过多技术协同，达到固废处理、生态修复的目的，在对煤炭开采形成的地下空间研究的基础上，研究煤矸石的物理化学性能及其破碎机理。根据煤矸石破碎机理研究破碎制粉工艺及其适应装备。加入矿井水混合制成浆液，通过注浆充填技术将矸石浆液注入地下空间，秉承“从哪来，到哪去”，使煤矸石、粉煤灰等固体废物回归自然，达到对固体废弃物的无害化处理，同时注入的矸石浆液能够充填离层空间，阻止离层区上部的岩层进一步下沉。



固废处置工艺流程图

三、技术指标

- (1) 煤矸石大小由 20mm 左右粉碎至 100 目左右，煤矸石最大过量为 200t/h。
- (2) 经过挤压后的煤矸石物料中 0.08mm 细料占 20—35%，小于 2mm 占 65—85%。

四、技术特点及先进性

- (1) 创新性采用高压辊压工艺，有效减少了对传统球磨工艺的依赖。该工艺可对 10mm 左右的煤矸石进行旋压和挤压破碎，使其成为 100 目左右的煤矸石粉末，实现了减少钢球衬板损耗 30%、降低能耗 20%、缩短检修时间的效果。

- (2) 采用高速激光熔覆和高频表面淬火工艺，提高缸套和曲轴的

表面硬度，使熔覆层表面无裂纹、无气孔，表面硬度达 HV2658，稀释率小于 3%；使曲轴颈表面硬度达到 HV581，淬硬深度 0.9mm，曲轴颈表面硬度差 HV55。

(3) 采用变频调速控制技术，通过独创的大功率变频驱动架构与 IGBT 电路拓扑优化设计，实现了性能的全面跨越。其核心指标为：额定功率 220kW/380V，变频范围 0-80Hz，运行效率高达 96%，过载能力达 150%，并在 15MPa 注水压力下，将单耗显著降低至 5.5kW·h/m³。

五、应用案例

项目名称：赵庄煤业木化石集中区离层注浆充填减沉开采项目
项目概况：该项目位于山西省长治市长子县赵庄煤矿南苏风井，是晋能控股集团实施的绿色开采示范工程。该项目针对矿区“三下”压煤资源回收难题，采用覆岩离层注浆充填先进技术，于 2023 年正式投入运营。项目总投资 1.5 亿元，占地约 50 亩，通过注浆充填工艺年处理煤矸石等固体废弃物 10 万吨，有效控制地表变形，减沉率达到 85% 以上，年回收压滞煤炭资源 50 万吨，减少煤矸石堆存占地 30 亩，减排二氧化碳 8 万吨，实现年利润 5000 万元，为资源枯竭矿区绿色转型提供了成功范例。



该项目采用矿区生态修复固废处置一体化设备，设备总投资 2000 万元，含四条注浆线，6 台 F500 泥浆泵。目前 4 条注浆线及 6 台 F-500 注浆泵组安装与整体电控调试已完成，产线进入试运行。项目投运后年处置粉煤灰超 100 万吨，减少固废堆存占地约 50 亩，同时通过煤层加固提升开采安全性，为苏晋两地“无废城市”建设提供实践范例。



六、推广前景

据国家统计局等数据预测，2024 年全国煤矸石存量超 60 亿吨。主要处置方法如井下回填和外运制砖存在成本高或市场需求限制问题。粉煤灰回填效果良好，但面临价格上涨和矸石山审批难题。

矿区固废处理行业产值预计 2025 年达 1.3 万亿元，年复合增长

率超 20%。目前，针对该装备公司已有意向性客户 5 家，预计将成为公司带来超过 4000 万元的销售收入，经济效益显著。同时该技术装备预计还将为公司带来 20 至 30 年的持续效益。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：江苏远方动力科技有限公司

联系人：王璠

联系方式：15050866007

（四）土壤污染修复装备

案例一：江苏盖亚环境科技股份有限公司工业污染土壤取样修复一体化装备

一、技术适用范围

适用于工业、城镇、农村土地污染场地的修复处理。

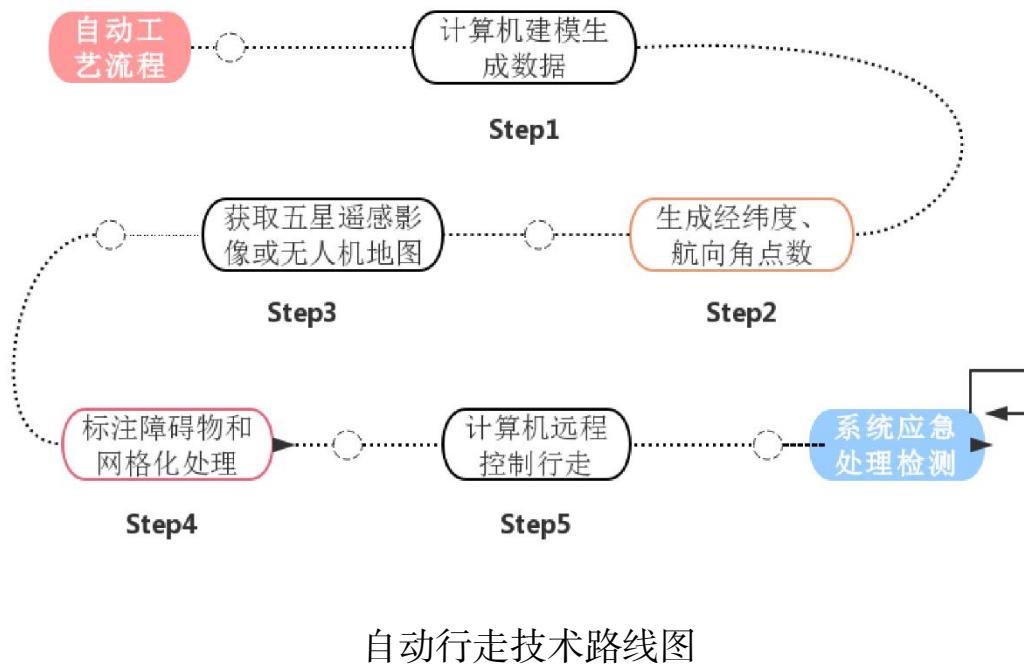
二、技术原理及工艺

动力头性能参数决定取样扰动性，目标产品通过优化切削用量三要素最佳配比，解决了采样过程扰动性大的难题，从而提升采样取芯率。对比等效内摩擦角影响因子，拟合钻压对钻速和钻头磨损的影响曲线，设计钻压值小于并靠近 P_b 范围内，保证硬质合金钻头磨损量较小时获得较快机械转速，规避钻压过高导致钻头切入土层深度过大、孔底净化和冷却受阻，造成土壤堵塞致使钻头磨损严重甚至烧钻，或钻压过低钻头无法有效切入土层，造成钻头硬质合金打滑磨光。同时也拟合了给进量对切削量的影响曲线，设计钻速最大的前提下，尽可能减小切削量，规避钻进偏移现象。

通过控制管道内的压力、温度，保证挥发性有机物的检测分析需求以及检测的精确性。在设备后端装有尾气吹扫功能，增加辅助尾气通量，使试样通过检测器加速，减少检测峰的扩宽，使局部浓度增大，以提高检测的灵敏度。

通过采用 PLC 控制模块取代传统继电器逻辑控制方式，大大增加设备电控可靠性，使各类电气故障由 PLC 自动检测、报警并进行应急处理以及实现高精度的运动控制，如对主油缸给进行程、柴油机

转速、动力头扭矩输出参数的控制等；通过研发 PLC 智能型液电比例控制技术控制动力、给进、行走驱动等系统，实现各系统的各项参数智能化实时最优调整，同时满足设备多种作业辅具的高效工作；将工作系统的作业参数引入各控制系统中，通过对各工作系统参数、整机功率调整设置，实现各工作系统的功率智能型自由调整，使得不同工况、不同工作装置时，都有较高的作业效率和节能效果。



三、技术指标

关键技术:新型直推式连续密闭弱扰动采样技术挥发性有机物(VOCs)原位实时快速检测技术原位压密注射修复技术。

技术指标:最大推进力 > 130kN, 最大起拔力 > 205kN, 最大输出扭矩 > 5020Nm, 转速:0 ~ 120rpm(可调), 取芯率 > 90%, 最大采样深度 > 35m, 原位压密注射影响半径:4m ~ 5m, 原位压密注射注浆压力:2MPa ~ 10MPa, 高压旋喷影响半径:4m ~ 5m, 高压旋喷注浆压

力:30MPa ~ 40MPa。

四、技术特点及先进性

相比国外，欧美国家在土壤修复专业领域有着丰富的技术积累和应用案例，具备完整的装备研发和制造体系，在市场上得到广泛应用。代表性企业有国外大型知名品牌美国 Kejr Inc.公司等。国外采样设备虽然性能优越，但国外企业在场地调查修复技术方面对我国全面封锁，存在技术垄断，价格昂贵，售后服务和维修十分困难，且不能完全满足我国不同地域复杂地质条件的采样需求。

相比国内，市场仅有我公司自主研发目标产品，目前没有其他将采样、分析与修复集成一体化的同类产品；没有可以保证修复效率达90%以上的同类产品；没有可实现原位连续快速检测挥发性有机物的同类产品。

五、应用案例

项目名称：苏州市某原位热脱附修复场地热取样项目

项目所在地：苏州

项目概况：此项目位置处在苏州某热脱附修复场地，场地取样区间内土壤温度近 90°C，本项目需要合适的设备和器具，将土壤或地下水等污染介质样品直接从热环境中采出，所取样品在流转过程中应控制污染物的损失，同时做好热采样过程中的工作危害分析并落实安全保障措施。

主要场调技术与装备：盖亚科技对传统的取芯套件的结构和材料进行重新设计和制作，这套热采样系统能够高温的环境中(温度区间 0-350°C)采取连续密闭低扰动方式取样，保证样品的代表性。盖亚科

技热采样急冷装备，使用液氮冷却箱急冷降温，样品本身仍处在密闭环境中，在短时间内可将样品流转至采集端，大幅度降低样品滞留时间，提高了样品的准确性。工业污染土壤取样修复一体化装备通过显示终端直观记录挥发性有机物在不同深度土壤中的相对浓度及土壤电导率、温度等参数变化，对场地进行精准化采样。

项目效果：本次热采样应用盖亚科技参与的国家重点研究计划(863计划)相关课题内容。通过盖亚科技热采样技术采集的样品送到CMA认证实验室分析，其结果与客户的数据对比准确度非常高，首次实现热脱附场地高温实时取样，突破了国内在材料和装备上的限制，引领了国内技术的发展方向。

六、支撑单位信息

支撑单位名称：江苏盖亚环境科技股份有限公司

联系人：陈丹

联系方式：15951018974

案例二：重庆昆顶环保科技有限公司土壤生物修复智能预处理撬装装备

一、技术适用范围

适用于石油、农药及其他有机污染土壤的修复处理，以及相关生物修复过程的预处理环节。

二、技术原理及工艺

本技术装备集成石油污染土壤自动检测、机械摩擦粉碎、多级筛选、调理剂智能投加等八大核心单元。通过污染土壤有机污染物快速检测与智能修复模型应用，实现工艺参数实时优化调整及调理剂智能精准投加，精准匹配生物修复需求，有效减少物料消耗并避免二次污染。同时，该技术可降低污染负荷及生物毒性，提升微生物适应性和生物修复效率，实现石油等有机污染物污染土壤的精准修复、精细化管理及全过程智能化调控。



3D模型图

三、技术指标

处理能力不低于60吨/小时，24小时连续稳定运行效率超过80%；

石油污染土壤全自动快速检测精度超过 95%，检测周期为分钟级；石油污染土壤快速检测传感器精度超过 90%，检测周期为秒级；预处理的污染物去除效率可依据实际需求在 0% 至 90% 区间内灵活调节，联合生物修复后的污染物去除率超过 95%；修复后石油污染土壤中石油烃含量可控制在 0.08% 以下，符合《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地筛选值限制要求。

四、技术特点及先进性

利用快速检测、大数据、物联网及修复模型等先进智能技术，实现工艺参数的实时优化调整与调理剂的智能精准投加，精准匹配生物修复需求，有效降低能耗与物料消耗，避免二次污染。可显著提升石油污染土壤生物修复效率，全面满足修复目标及工期要求；预处理后能够充分满足生物修复各项需求，从技术层面保障生物修复技术的可行性与实用性且该装备可独立应用于低浓度石油污染土壤的修复作业。

五、推广前景

以中高浓度石油污染土壤典型浓度值 20000mg/kg 为基准进行测算，若预处理效率达 60%，剩余 40% 污染负荷由生物修复技术承担。据此，该设备每日石油污染物去除量为 13.82 吨，可显著降低污染土壤中石油烃含量。按年均运行 200 天计，年处理污染土壤规模达 23 万吨，石油污染减排总量约 0.27 万吨，为石油污染土壤中石油类物质的回收与综合利用提供技术可行性。

结合土壤修复行业对绿色低碳技术的发展需求，本技术装备可提

升石油污染土壤绿色低碳修复技术与装备的供给能力，推动国内石油烃污染土壤修复市场的技术革新。经分析，短期内该技术装备在工业场地污染修复—石油烃污染场地修复细分市场的占有率可达 25%；长期预测，市场占有率将提升至 40%至 70%，具备广阔的市场应用前景。

六、支撑单位信息

支撑单位名称：重庆昆顶环保科技有限公司

联系人：寇双伍

联系方式：19922381036

(五) 环境监测专用仪器仪表

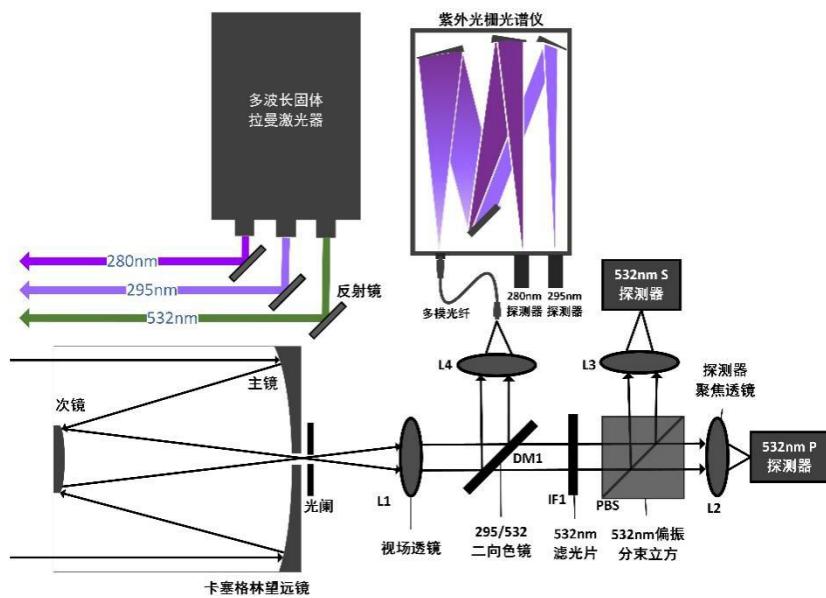
案例一：深圳大舜激光技术有限公司高精度全固态臭氧激光雷达

一、技术适用范围

适用于城市大气环境治理、气象监测及研究。

二、技术原理及工艺

高精度全固态臭氧激光雷达采用全固态免调谐发射光源产生280nm、295nm、532nm脉冲光，采用差分吸收原理，基于两个波长下臭氧吸收截面差异反演大气臭氧浓度，同时利用激光雷达的后向散射原理，反演可得到不同高度处臭氧气体和颗粒物浓度的垂直分布特征，实现高时空分辨的大气臭氧及颗粒物立体监测及溯源，为臭氧与颗粒物协同治理提供关键数据支撑。



工作原理图

三、技术指标

泵浦激光波长：280nm, 295nm, 532nm；激光器脉冲频率：5kHz；激光能量： $\geq 20\mu\text{J}$ @280nm, $\geq 20\mu\text{J}$ @295nm, $\geq 100\mu\text{J}$ @532nm；探测高

度：臭氧 $\geq 5\text{km}$ ，颗粒物 $\geq 10\text{km}$ ；探测盲区： $\leq 60\text{m}$ ；空间分辨率： $\leq 15\text{m}$ ；时间分辨率：1min~30min 可调；探测精度： $\leq 2\text{ppb}$ ；数据产品：臭氧浓度、消光系数、PM10、PM2.5、后向散射系数、光学厚度、云高、退偏振比。

四、技术特点及先进性

(一) 利用单一泵浦源通过固态拉曼频移和倍频技术，一体化输出 280nm、295nm 与 532nm 三波长，该设计摒弃传统气体拉曼管，结构紧凑、免调谐、转换效率高，进一步提升了运行稳定性。

(二) 280nm 与 295nm 波长构成高邻近差分吸收对，显著抑制气溶胶干扰，有效提高反演精度，配合高精密光学设计与高灵敏探测器，实现大气臭氧兼顾颗粒物的立体、全天候、高精度监测。

五、应用案例

项目名称：南京市气象局臭氧激光雷达建设项目。

项目概况：2021 年 4 月，臭氧激光雷达在南京市气象局投入安装使用，用于长时间监测南京市大气臭氧垂直分布与时空变化，监测大气臭氧的沉降和输送现象。其产品数据是研究边界层内臭氧三维结构及污染物生成和输送的有力工具，用于分析臭氧及颗粒物污染状况、污染成因、重点贡献区域、空间传输特征等，为研究南京臭氧生成和消亡特征，臭氧及前体物污染的综合治理提供了关键数据支撑和有利决策依据。



六、推广前景

未来三年，随着大气臭氧及细颗粒物治理趋严，政府和企业对环境监测的投入持续增加以及相关政策的推动，都将加速臭氧激光雷达在大气环境监测领域的应用，主要城市、中小城市和偏远地区环境监测站点的臭氧激光雷达覆盖率进一步提升，预计未来三年国内销量达到上百台，总产值约3亿元，带动电子元器件、设备运维、污染治理等相关行业相关产值超1亿元，成为大气遥感监测细分领域的增量市场，具有较好的推广应用前景。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：深圳大舜激光技术有限公司

联系人：徐文静

联系方式：18565763370

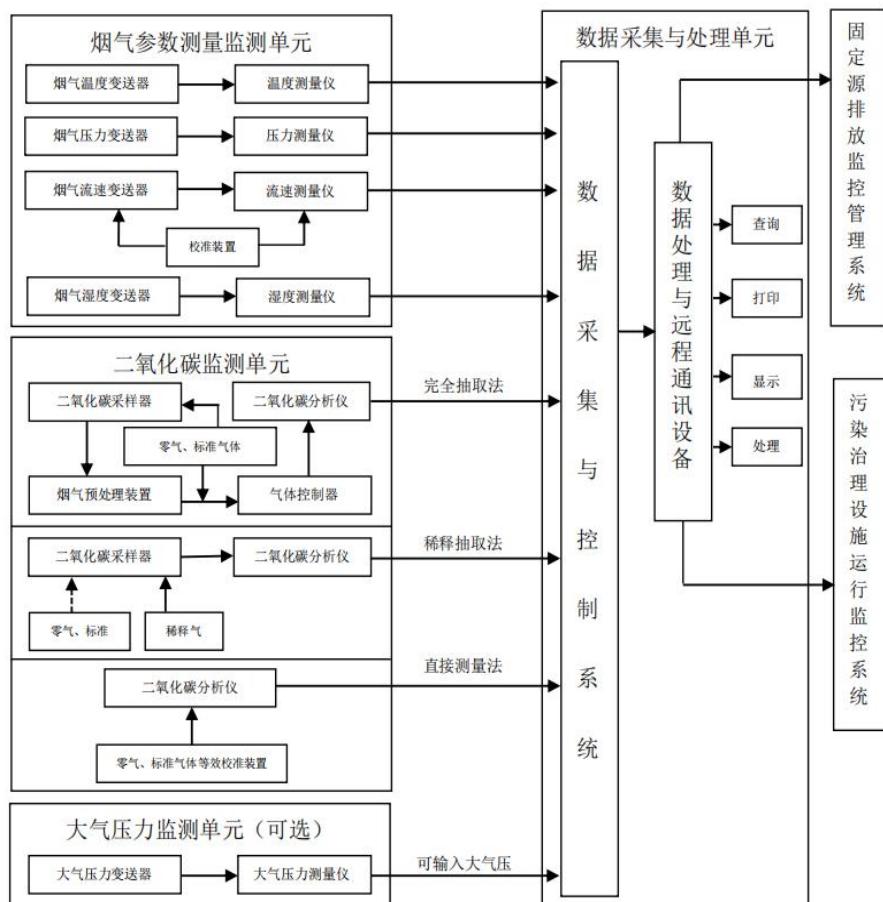
案例二：江西怡杉环保股份有限公司固定污染源碳排放连续监测系统

一、技术适用范围

发电、水泥、钢铁、铝冶炼行业温室气体在线监测。

二、技术原理及工艺

固定污染源二氧化碳排放连续监测系统由温室气体监测子系统（CO₂、CO、CH₄、N₂O 等）、烟气参数监测子系统（温度、压力、流速、湿度、氧含量）、系统控制及数据采集处理子系统、校准与辅助子系统四个基本部分组成，详见下列设备系统示意图 1 和设备系统示意图 2。



设备系统示意图 1



设备系统示意图 2

三、技术指标

有组织废气中 CO、CO₂、CH₄、N₂O 四种气体和烟气参数实时连续监测，量程：CO₂: (0 ~ 20)% (扩展量程 20% ~ 30%)，CH₄: (0 ~ 500) ppm (扩展量程 500 ~ 15000ppm)，CO: (0 ~ 500) ppm，N₂O: (0 ~ 100) ppm；检出限：CO₂: 0.1%，CH₄: 1ppm，CO: 1ppm，N₂O: 0.5ppm；系统响应时间≤200s；示值误差±5% (标称值)；漂移≤±2%F.S.；预热时间≤60min。并充分利用 5G 和 NB-IoT 实现对前端监测站点的数据采集、统计以及对设备运行状况远程监管维护等管理功能。

四、技术特点及先进性

基于非分散红外 (NDIR) 的 CO₂ 传感器的温度自补偿技术，有效降低 CO₂ 传感器受到温度的影响，提高了浓度反演精度；基于 TDLAS 的混合多气体浓度检测采用精确分时序控制技术实现多种气体测量系统的小型化；基于 NDIR+电化学的混合多气体浓度检测系统电路设计，方便后续调用查看采集的数据，可按照一定的格式通过串口输出，供上位机或其它处理器使用。

五、应用案例

项目名称：新余钢铁集团有限公司烧结厂 7#烧结机头废气排放口碳排放连续监测项目

项目所在地：江西省新余市渝水区新钢街道冶金路 1 号

项目概况：新余钢铁股份有限公司企业自行投资 44 万用于碳排放连续监测系统成套设备的技术应用，建设 $3 \times 3 \text{ m}^2$ 的监测站房及配套措施，安装气态污染物监测子系统、烟气参数监测子系统、系统控制及数据采集子系统、校准系统等。

成本节约效果：连续监测系统设备最高功率约 5KW，不需要太多运维服务，主要耗材为氮气、二氧化碳、甲烷及氧气等标准气体及滤芯约 1 万元/年。

项目效果：固定污染源碳排放连续监测系统由原来的能耗双控逐步向“碳排放总量和强度”转变，通过能耗“双控”优化能源结构，对生产领域进行大幅节能，提高用能效率。



图 3 技术案例设备安装调试图

六、推广前景

我国承诺到 2030 年实现碳达峰、2060 年碳中和，这对碳排放监测和控制提出更高要求。政府未来将持续强化碳排放监测法规、标准及报告制度。尤其是全国碳市场逐步完善后，钢铁、建材、化工、电力等高耗能行业都将进入强制监测清单。到 2028 年，预计 80%以上的排放源企业将受到监测要求，明年可实现年销售额 500 万元，未来 3 年将实现年产值和年销售额以年均 300% 的速度增长。

通过碳排放连续监测，企业可清晰地了解自身减排的表现，从而调整生产结构和工艺，推动产业升级，实现低碳转型；实时监测和记录碳排放数据能够为政府、企业和研究机构提供科学、准确的碳排放信息，及时发现并控制高排放源，减少温室气体排放，制定更加精准的低碳发展战略和政策。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：江西怡杉环保股份有限公司

联系人：吴启峰

联系方式：15170077234 0791-88131300

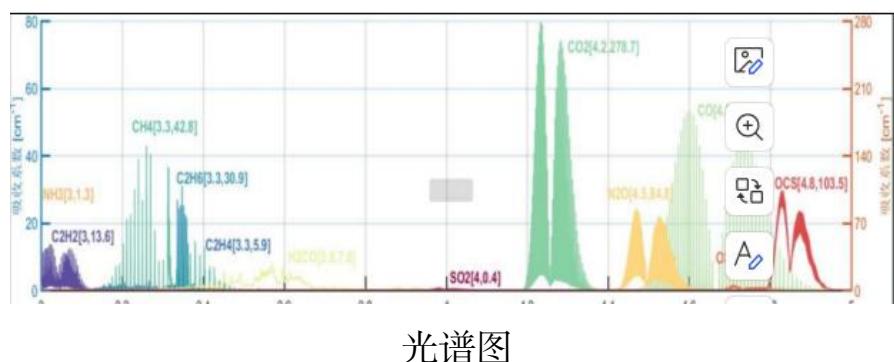
案例三：河北天翼红外科技有限公司窄带中波红外 VOCs 气体泄漏检测仪

一、技术适用范围

适用于环保执法、应急管理、石油化工领域及工业领域集中的城市和重点工业园区，生产设施的日常巡检、泄漏点的精准定位以及环境监测等。

二、技术原理及工艺

挥发性有机物具有爆炸隐患，特此该类隐患的监测具有一定意义，该类挥发物的红外吸收峰大多在红外响应的中波波段，所以选具有 $3.0\text{-}3.5\mu\text{m}$ 响应峰值波段的红外探测器配合弱小信号放大电路及相应的成像算法，实现泄露气体的可视化观测。我司自研的检测设备具有窄带制冷型中波红外探测器并配有可见光、激光遥测设备，内嵌了自主研发的 AI 识别技术，实现了远距离 VOCs 类气体泄露监测效果，能够将石油、甲烷、苯等烷烃类气体的挥发泄漏第一时间侦测并报警。



光谱图



图 1 手持式 VOCs 气体泄漏检测仪



图 2 固定式

VOCs 气体泄漏检测



图 3 移动式 VOCs 气体泄漏检测仪

三、技术指标

工作波段: 3.0~3.2um; 组件寿命: 15000 小时; 检测精度: 100ppm;
电池使用时间: 4 小时; 检测范围: 结合泄漏气体的浓度及设备光学灵敏度, 探测泄漏范围 1-150 米; 响应时间: 30 次/秒。

四、技术特点及先进性

(一) 通过独立可控的生产线并配有多组先进的光学调制设备可将成像探测器组件的挥发气体响应波长范围调制到较窄区域比如 3.0um-3.2um;

(二) 延长了设备的使用寿命，能够长时间使用且能量高于 T2SL 材料体系的专用 VOCs 气体挥发监测类探测器，寿命可达 15000 小时，响应能量优于 T2SL，价格低于 MCT 材料；

(三) 设备中嵌入自主研发的 AI 识别算法可实现实时的气体泄漏标注与指示。

五、推广前景

2023 年全球 VOCs 气体监测仪市场规模达到了 5.98 亿元，根据 VOCs 气体监测仪行业发展环境与行业整体发展态势来看，预计未来几年，全球 VOCs 气体监测仪市场年复合增长率将达 5.01%，至 2029 年全球 VOCs 气体监测仪市场规模将达到 8.01 亿元，市场容量巨大。未来公司将继续优化产品性能并进行宣传推广，预计年产值可达 2000 万元，促进环境保护和可持续发展。

六、支撑单位信息

支撑单位名称：河北天翼红外科技有限公司

联系人：秦丽伟

联系方式：13231227888

案例四：杭州泽天春来科技股份有限公司低功耗水环境质量在线监测系统

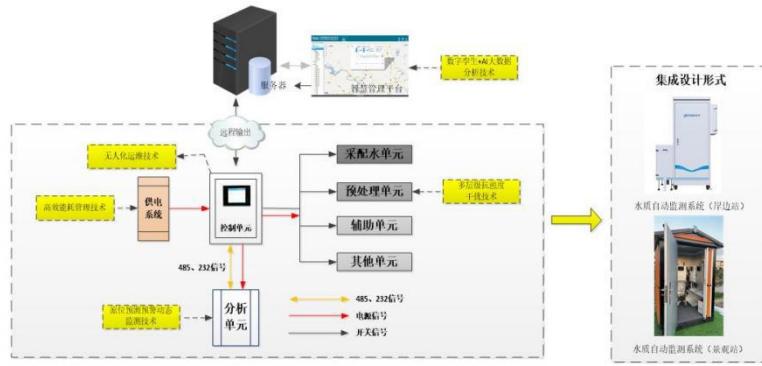
一、技术适用范围

适用于国家水网如江河湖库、小流域、入河（海）排污口、集中式饮用水水源地、地下水、海水、径流水等实时监测与预警。

二、技术原理及工艺

通过开展多层级智能过滤联合在线自动离心清洗技术、原位预警分析和可控频次采样系统、基于光储能一体化的自适应供电控制技术等，结合数字孪生技术、AI 大数据分析技术，开发智能化管理预警平台，实现了对水体关键参数（如 pH 值、溶解氧、浊度、电导率、COD、氨氮、总磷、总氮及特征因子等）的实时、连续监测。为水污染事件的快速响应提供科学依据，有效支撑国家水网的网格化建设、精细化管理和生态安全维护。

该装备包括采配水单元、预处理单元、分析单元、控制单元、辅助单元和质控、留样等其他单元。控制单元与管理平台通过无线或专网连接，采用国家地表水协议上传数据及系统状态，实现反控功能等。系统的呈现形式根据项目需求可以定制，主推的有户外微型水质在线监测系统（占地面积约 $0.5m^2$ ）和户外小型水质在线监测系统（占地面积约 $2m^2$ ）。



系统流程图

三、技术指标

测量参数：常规九参数，包括五参数（pH、水温、浊度、电导率、溶解氧）、氨氮、总磷、总氮、高锰酸盐指数（或化学需氧量）；
 最小占地面积：常规 9 参数 \leq 0.5 平方米，常规 9 参数+质控、留样 \leq 2 平方米（可走入式 1-2 人运维）；系统日消耗电量 \leq 1 千瓦时（监测频次：每 4h 监测 1 次）；抗浊度能力：500~1000NTU（设备测量值满足 $\pm 10\%$ 的误差）；最短做样时间及检出限：氨氮： $\leq 15\text{min}$ 、 0.02mg/L ；总磷： $\leq 30\text{min}$ 、 0.0025mg/L ；总氮： $\leq 30\text{min}$ 、 0.05mg/L ；化学需氧量： $\leq 30\text{min}$ 、 2.5mg/L （低于地表水 I 类标准限值）。

四、技术特点及先进性

发明了多层级智能过滤联合在线自动离心清洗技术，提出了多波长浊度补偿算法，实现对高浊度水体的高精度监测；研制了原位预警分析和可控频次采样系统，提升了整体监测效能；研发了故障靶向识别与多参数融合远程质控技术，提高了运维效率；开发了基于光储能一体化的自适应供电控制技术，降低了运行能耗；构建了面向数字孪生+AI 大数据分析的数智管理平台，实现“监测-分析-预警-决策-反馈”

的闭环管理。经权威专家鉴定处国际先进水平。

五、应用案例

项目名称：嵊州市环境保护监测站曹娥江流域嵊州段各支流水质自动监测项目

项目所在地：浙江省嵊州市

项目概况：曹娥江是浙江省绍兴市的一条重要河流，嵊州段位与其上游地区支流众多。本项目在嵊州段建立了 6 套水质自动监测系统，覆盖石璜江、崇仁江、富润江、郯城江、小崑江、四明江指定点位。2024 年 12 月投入使用后，可在线、实时监测地表水水质五参数（pH、电导率、溶解氧、浊度、水温）、高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮等关键指标，搭配数据采集及通讯模块，主动上传数据至中心平台，系统运行稳定、可靠，为水环境监管能力建设提供有效的数据支撑，及时掌握水质变化。该项目的成功实施，加强了曹娥江流域嵊州段各支流的水质监测能力，推动水环境管理的精细化、智能化和现代化，是嵊州市智慧水务建设和“五水共治”工作深化的重要基础设施项目。



案例现场应用图

六、推广前景

国家水网是以自然河湖为基础、引调排水工程为通道、调蓄工程为结点、智慧调控为手段，集水资源优化配置、流域防洪减灾、水生生态系统保护等功能于一体的综合体系。在国家政策指导和地方政府大力推动下，水网监测已成为水网建设的重要环节。该技术装备创新了多项国内外关键技术，对国家水网的建设，装备制造业智能化、智慧化提升以及整个生态环境监测发挥了重要作用，使传统监测行业迈向绿色低碳、数智化的新发展方向。主要应用于国家水网建设中水环境质量在线监测及预警，涉及江河湖库、小流域、集中式饮用水水源地、地下水、海水、入河（海）排污口等。未来三年，该技术装备在全国多地推广应用，预计产生2亿元余元的经济效益。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：杭州泽天春来科技股份有限公司

联系人：王依春

联系方式：13306539171

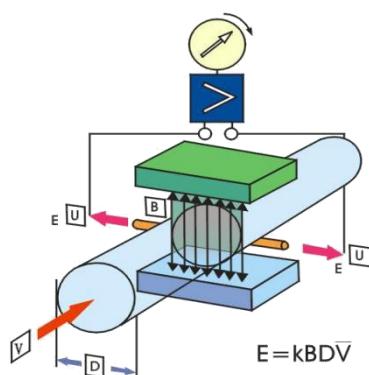
案例五：重庆市三峡生态环境技术创新中心有限公司市政排水管道非满管电磁流量计

一、技术适用范围

适用于市政排水管网、污水处理厂、农业灌区、工业园区等流量计量场景，可适配非满管/满管交替、高杂质/强腐蚀等复杂工况。

二、技术原理及工艺

基于流速-面积法，通过“流速-液位”双参数协同监测实现流量精准计量。其核心原理包括：一是基于法拉第电磁感应定律，通过流速传感器捕捉流体切割磁感线产生的电信号，转化为实时流速；二是利用高精度液位传感器高频采集管道内液位数据，结合管道直径等参数构建动态截面积模型，实时计算过流断面面积；三是引入权重函数理论修正非满管状态下的流速偏差，再通过自适应加权算法融合液位与流速数据，最终依据“流量=截面积×流速”公式输出精准流量值，实现全工况下的动态监测。



流速测量原理图

三、技术指标

适用 10%~100% 管道液位工况；在标准工况下非满管流量精度

$\pm 3.0\%$ FS，满管精度 $\pm 0.5\%$ FS；适用介质：可导电介质；适用管径：DN150~DN3000；水流方向：双向均可；流速测量范围：0.01-6.0m/s。

四、技术特点及先进性

（一）非满管高精度突破

创新融合 Shercliff 电磁流量计权重函数理论，精准量化流场不同区域信号贡献差异，破解非满管流场不均的信号偏差问题，非满管测量精度达 $\pm 3\%$ FS。

（二）无压损低维护设计

采用一体化无障碍流道设计，破解“易堵塞、高运维、寿命短”行业痛点，维护周期延长至 1 年以上，使用寿命提升至 12 年，显著降低长期使用成本。

（三）全工况兼容测量

打破传统电磁流量计满管局限，实现非满管/满管全场景覆盖，无需改造管道即可适配 DN150~DN3000 管径，兼容不规则流态与复杂工况，满足多场景计量需求。

项目总体技术达到国际先进水平。

五、应用案例

项目名称：重庆花溪河综合整治 PPP 项目

项目概况：该项目在排水管网流量监测工作中部署多台非满管电磁流量计，经实践验证，设备以 $\pm 3\%$ FS 的非满管测量精度为核心优势，累计有效监测时长超 4000 小时且无故障记录，性能显著优于传统非满管流量测量设备。同时，设备能精准适配污水干管动态工况，具备耐受污水介质、运维便捷的特点，有效降低了管网运维成本，成功助力排查出多处管网混错接、漏损等问题，为管网问题精准整改及

日常运行调度提供了可靠的数据支撑。



六、推广前景

随着环保管控升级与节水政策深化，非满管流量计量刚需激增。该非满管电磁流量计以高精度、低维护、长寿命为核心优势，适配市政污水、工业废水等多场景，契合国产化替代趋势。可有效帮助识别管网混错接、污水偷排、外水入侵（河水倒灌、地下水入渗）等问题，为提升城市水环境质量、破解污水厂进水浓度低、运行经济性差等难题提供关键支撑，预计 3 年后行业普及率可达 10%。项目预计总投入约 200 万元，产品应用后，既能对区域内管网漏损问题实现有效监测与精准溯源，又能助力污水厂进水浓度提升 15%以上，进而有效改善污水厂运行经济性不足的现状，具备显著的市场应用价值与推广潜力。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：重庆市三峡生态环境技术创新中心有限公司

联系人：蒋洁

联系方式：19983816200

(六) 环境污染防治专用材料与药剂

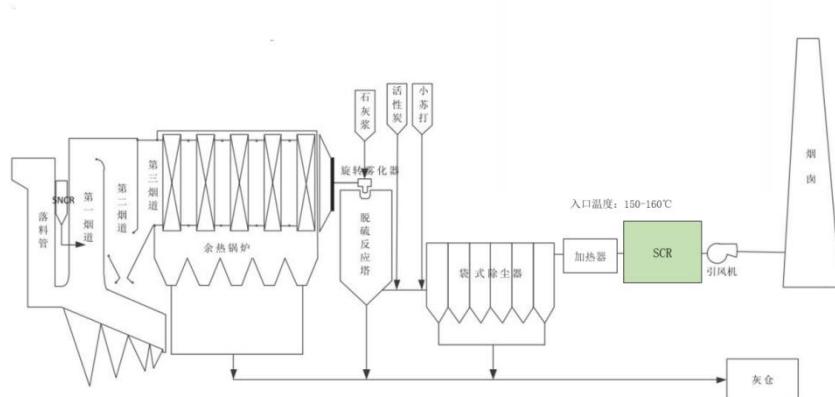
案例一：深圳华明环保科技有限公司超低温 SCR 脱硝催化剂

一、技术适用范围

适用范围：钢铁、水泥、焦化、石化、玻璃、陶瓷、垃圾焚烧、生物质发电等工业企业烟气脱硝处理。

二、技术原理及工艺

复合异质多原子超低温 SCR 脱硝技术：本技术采取固定床形式，将催化剂装于反应器中，喷入氨气/氨水/尿素溶液作为还原剂，烟气流过催化剂装置后($\geq 150^{\circ}\text{C}$ 即可反应)将氮氧化物还原生成氮气和水。



超低温 SCR 脱硝工艺流程

三、技术指标

反应温度 $\geq 150^{\circ}\text{C}$ ，脱硝效率 $\geq 95\%$ ，氨逃逸 $\leq 3\text{mg}/\text{m}^3$ 。高抗水抗硫性，耐受湿度 $\leq 30\%$ ， SO_2 浓度 $\leq 2500\text{mg}/\text{m}^3$ 。运行寿命 ≥ 24000 小时，空速比 $2.5 \times 10^3/\text{h} \sim 4.5 \times 10^3/\text{h}$ 。

四、技术特点及先进性

(一) 节约能耗。可在低温 150-160 °C即可脱硝反应，效率可达到 95%以上。较传统 SCR 技术减少对烟气大幅加温环节。

(二) 极好的耐水耐硫性能。最高可耐受 30% 水分，
2500mg/m³SO₂ 浓度环境。提升催化剂使用寿命，从而降低成本。

(三) 高空速比，同等烟气量下装载更小体积的催化剂。

(四) 降低氨逃逸。较强的蓄氨能力，对比传统 SCR，氨逃逸可控。

五、应用案例

需包含项目名称、项目所在地、项目概况（如该技术装备应用前后的污染物排放情况对比，项目总投入、污染物年减排量、成本节约效果、节能效果等内容，包括但不限于上述内容）。

需附与案例相关的照片

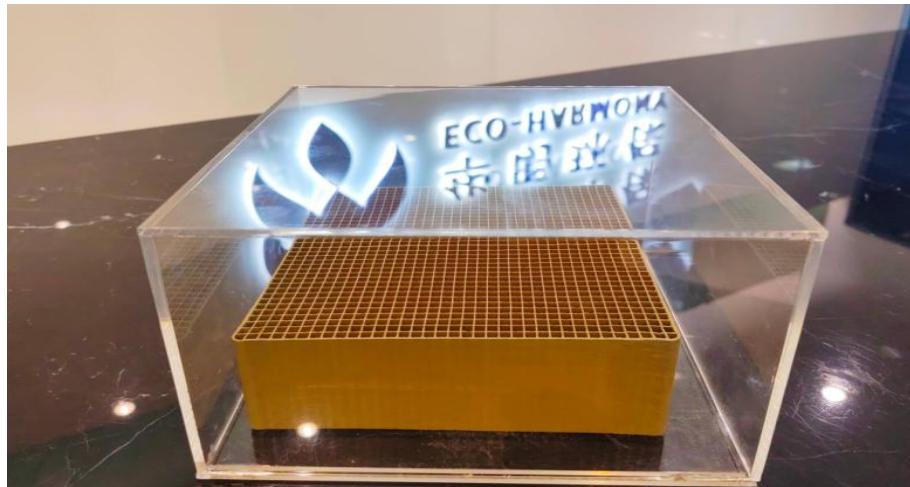
项目名称：海心沙绿色工业服务项目

项目所在地：广东东莞

项目概况：本项目为 750T/d 垃圾焚烧炉，其烟气量为 171000m³/h，初始 SO₂ 含量≤100mg/m³³³、水含量≤35%、NO_x 初始值约 200mg/m³。采用华明的超低温 SCR 脱硝催化剂后，催化剂反应温度控制在 150-160°C，NO_x 排放值控制在 50mg/m³ 以内（日均值），NH₃ 排放值控制在 3mg/m³ 以内（日均值）。此外，由于催化剂的反应温度较此前大幅降低，大大节约了烟气升温的运行成本，运行成本端可节省 400 万/年。



项目实景图



催化剂产品实物

六、推广前景

简要描述推广前景，不超过 300 字，尽量包含未来 3 年内可实现的年产值、年销售量、主要污染物年减排量等信息。

超低温 SCR 技术通过材料优化，实现了烟气的超低温反应，可大幅省去补热环节，降低 30%-40% 运营成本；同时，材料与工艺创新提升催化剂性能与寿命，契合企业降本增效需求。目前全国共存量钢铁冶炼行业 5.3 亿吨产能、水泥行业 8.5 亿吨熟料产能、焦化行业

4.6亿吨产能面临超低排放改造，通过该技术的高效脱硝可实现50-75%炉窑尾烟气 NOx 减排；同时该技术的应用可通过减少燃料消耗，助力企业实现碳排放下降 10%-15%。随着国家关于大气排放污染物监管政策的日趋严格，未来脱硝催化剂市场将在千亿级别。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：深圳华明环保科技有限公司

联系人：姜胜男

联系方式：15768143286

（七）环境污染防治设备专用零部件

案例一：福建龙净新陆科技发展有限公司高频玻璃管臭氧发生器

一、技术适用范围

市政给排水处理领域：适用于大型自来水厂深度处理升级、市政污水处理厂提标改造工程。

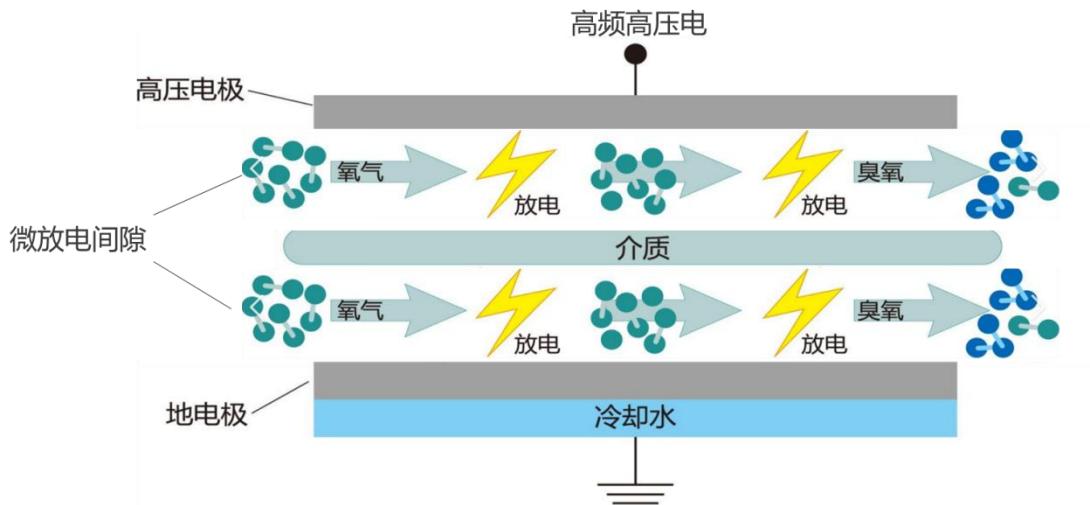
工业废水治理领域：针对印染、造纸、化工、皮革等行业产生的高浓度、高色度、高污染工业废水，以及含难降解有机物的工业污水，通过臭氧高级氧化工艺实现污染物深度去除。

烟气净化领域：可集成于燃煤电厂、钢铁企业等的烟气脱硝系统，通过臭氧氧化实现氮氧化物（NO_x）高效脱除。

其他拓展领域：涵盖食品饮料消毒、纸浆漂白、高密度养殖水体净化等场景，具备多行业适配性。

二、技术原理及工艺

臭氧发生器采用双间歇介质（DBD）阻挡放电技术，通过采用特种硅晶体玻璃介质，及自主研发的高频逆变电源产生 3000-6000Hz、4-7kV 的高频高压电场，使干燥洁净气源中的氧分子在放电腔体中发生电化学反应生成臭氧。核心创新在于采用 IGBT 功率模块结合高速 DSP 控制技术，实现 SPWM 功率精准调控，在提升放电效率的同时降低能量损耗；配合超微双间隙模块化放电单元设计，优化电场分布，大幅提高臭氧生成浓度与稳定性。常用的原料气体有：氧气、空气以及含有氮、二氧化碳或其它惰性气体的含氧混合气体。



三、技术指标

电源工作频率：3000-6000Hz；
 电源工作电压：4000-6000V；
 额定臭氧浓度：150g/Nm³（氧气源），30g/Nm³（空气源）；
 单位额定电耗：7.5kWh/kgO₃（氧气源），12kWh/kgO₃（空气源）；
 较中低频（800-1200Hz）臭氧发生器能耗降低10%，占地减少
 20%，设备重量减少10%。

四、技术特点及先进性

电源热损耗低，发热量少，采用风冷，安全可靠；高频高压电源，气源无需额外添加氮气；高性能数字控制器，产量线性调节度好，不同产量工况下单位电耗均衡一致，有利运营管理；专利的蜂窝模块化集成式设计，敏捷高精制造；最高臭氧浓度296mg/Nm³，额定浓度150g/Nm³，耗电量为6.0-7.5kwh/kg；高频放电技术，高能量密度，占地面积较常规小1/3；电源整体采用高性能IGBT核心技术，稳定可靠，高效节能；具有优良的自动化性能，配套远程云服务平台；选配智能电极保护功能，确保长时间不间断运行。

五、推广前景

在国家“十四五”规划推动绿色发展及“双碳”目标背景下，生活饮

用水和污水处理标准不断提高，高效、低碳的臭氧处理技术需求激增，大型臭氧发生器市场迎来快速发展。目前国产设备凭借成本低 30%-50%、臭氧浓度达 12wt.%、单位电耗 \leq 7.5kWh/kgO₃等优势，性能已超越国际水平，市场份额持续提升。以高频低功耗玻璃管大型臭氧发生器为例，其配套 IGBT 逆变电源和铁氧体变压系统，单位电耗较常规系统降低 1kWh/kg。按 50kg/h 设备、年臭氧用量 438 吨计算，年节电 43.8 万 kWh，节省电费 43.8 万元，减排二氧化碳 436 吨。设备投资约 120 万元，约 3 年可回收成本。随着环保装备国产化政策推进，预计 2025 年臭氧发生器市场规模将突破 20 亿元。

六、支撑单位信息

支撑单位名称：福建龙净新陆科技发展有限公司

联系人：张海燕

联系方式：17359971773

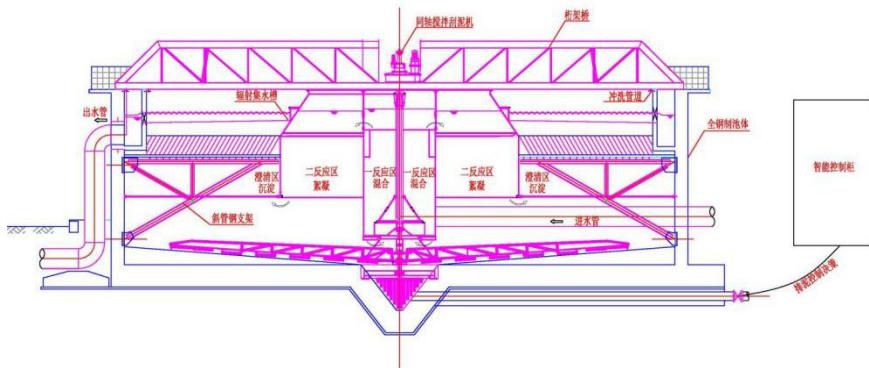
案例二：北京市市政工程设计研究总院有限公司机械搅拌澄清池一体化装备

一、技术适用范围

城镇、农村给水处理，污水处理及再生利用；电力行业工业用水预处理，采矿等工业废水处理及再生利用。通过新型机械搅拌澄清池系列产品的设备、装置，创造池内良好的水力条件实现混合、絮凝与沉淀工艺的高效集约化处理，主要去除水中悬浮物、胶体颗粒、微生物、藻类、硬度。

二、技术原理及工艺

通过优化池型结构和池内设备设计，与传统机械搅拌澄清池相比，相同公称直径池型的处理水力负荷可提高 50%，沉淀区水力停留时间增加 33%。同时可根据进出水水质情况，通过搅拌机调速控制提升水量，合理控制污泥回流量，以最低运行费用达到最好的水处理效果。其次，污染物的去除主要通过池内絮凝作用，而絮凝效果的好坏与水力特性有关，通过搅拌、扰流的扰动使得污染物颗粒之间相互碰撞。通过优化叶片结构、叶片安装位置、第一反应室进水形式、进水方向等特征结构，创造池内多级良好水力条件，形成高强度→中强度→弱扰动的三级水力条件区域，利于污染物去除。



新型机械搅拌澄清池成套装置产品设计图

新型机械搅拌澄清一体化装置采用钢制一体化池体，各层钢框架、承重方形钢管等构件均在工厂预制完成，质量精度可控，现场施工时，只需进行构件吊装和连接，相比传统钢筋混凝土水池现浇工艺，无需进行模板搭建、钢筋绑扎、长时间混凝土养护等繁琐工序，可缩短施工周期 40%-50%，尤其适用于老旧水厂升级改造项目中。

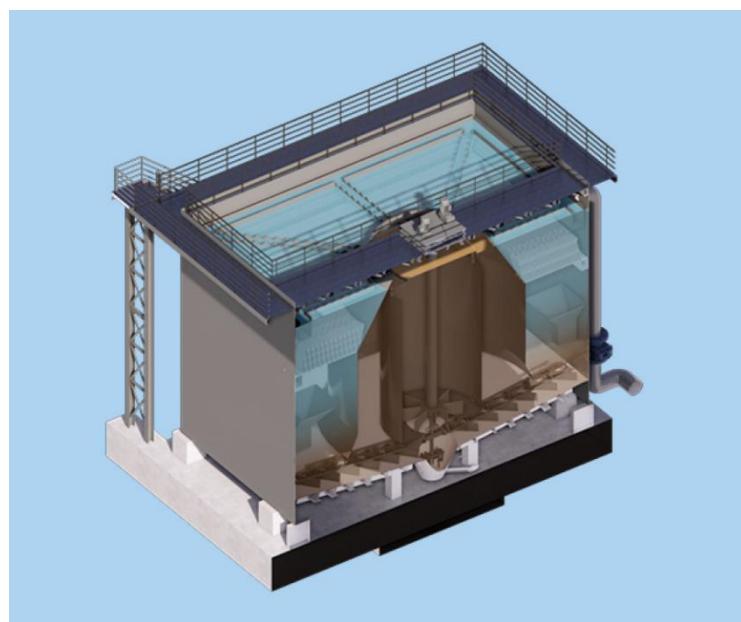


图 2 新型机械搅拌澄清池成套装置产品效果图

三、技术指标

单池产水能力 $400\text{m}^3/\text{h}$ - $2800\text{m}^3/\text{h}$;

1) 低温低浊水质

根据水厂运行经验，机械搅拌澄清池对于低温低浊水质情况处理效果较好，来水平均浊度为 5~6NTU，出水浊度一般在 0.3~0.4NTU 范围内。

2) 低浊高藻水质

根据水厂运行经验，技术装备应对藻类去除效果较好，当进水藻类约 200 万个/L 时，去除率在 75% 左右。同期进水浊度小于 5NTU，出水浊度小于 1NTU。

3) 对水量、水质变化的抗冲击能力

对于水量、水质的冲击负荷都有较好的应对能力。最大进水浊度 5000NTU，通过提高加药量至 20mg/L，保证出水浊度 1NTU。高峰期时，进水量超负荷 20%，出水浊度仍可满足设计要求。

四、技术特点及先进性

技术装备内容 1：开发了一种新型机械搅拌澄清池工艺设备，适用于单池产水能力 400m³/h-2800m³/h 的处理工艺；通过优化池内关键设计参数，提高处理效率，技术装备可适应不同来水水质，保障出水指标；

技术装备内容 2：新型机械搅拌澄清一体化装置，采用钢制一体化池体，可缩短施工周期 40%-50%；

技术装备内容 3：一种智能化排泥装置，通过智能排泥装置的算法和软件编程，具备深度学习功能，实现自动精准排泥，减少运营成本。

五、应用案例

项目名称：“北京昌平新城地表水厂工程”项目。

项目概况：

（一）用户用能情况简单说明

典型案例为昌平新城地表水厂工程，规模为 15 万立方米/天，设计工艺为：预处理+新型机械搅拌澄清池系列产品+炭砂滤池+超滤膜+安全消毒。主要出水水质：符合国家现行的《城市供水行业 2010 年技术进步发展规划及 2020 年远景目标》、《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006），其中出水浊度小于 0.3NTU（95%保证率）。目前出水稳定，其中新型机械搅拌澄清池配备新型工艺设备 4 套，配备一体化装置 4 套，配备智能化排泥装置 4 套。

项目应用后：来水平均浊度为 5-6NTU，出水浊度一般在 0.3~0.4NTU 范围内，机械搅拌澄清池浊度去除率平均为 74.4%。以昌平新城地表水厂为例，15 万 m³/d 产水量，设备投资约 500 万元；

①新型机械搅拌澄清池工艺设备减少工程建设周期，减少混凝土用量，减少运行复杂程度，可节约成本约 200 万元；

②智能化排泥装置可以减少 2900 次以上的人工测量的工作量。并且可以做到数据自动上传厂家自控系统，自动完成采集，记录以及存储，节约人工成本约 30 万元。

（二）实施内容及周期

实施内容 1：开发了一种新型机械搅拌澄清池工艺设备，适用于单池产水能力 400m³/h-2800m³/h 的处理工艺；创造池内多级良好水力条件，形成高强度→中强度→弱扰动的三级水力条件区域，利于污染物去除；通过搅拌机调速控制提升水量，合理控制污泥回流量，以最低运行费用达到最好的水处理效果；

实施内容 2：新型机械搅拌澄清一体化装置，采用钢制一体化池

体，采用分层式钢框架、首层放射状布置的钢梁体系设计；

实施内容 3：一种智能化排泥装置，智能排泥控制装置与厂级自控系统数据的对接与协议通信。研发智能排泥装置的算法和软件编程。

应用全套新型机械搅拌澄清池系列产品，实施周期约 3~4 个月。



图 4 技术案例全景图

六、推广前景

生活饮用水卫生标准(GB 5749-2022)将饮用水浊度限值从 1.0NTU 降至 0.5NTU，约 60% 城镇水厂需升级澄清工艺，此外还有 2025 年再生水利用率 $\geq 25\%$ 的硬指标，推动工业废水深度处理设施建设；现有水厂提标改造需求迫切。此外模块化建造还符合《绿色建造技术导则》的“装配式施工”要求，享受政策补贴。市场应用前景优越。

适用水厂：全国 1956 座城市水厂，10% 适用技术改造 → 196 座，
渗透率：按 20% 计 → 40 座（规模均 10 万吨/日）。

进水浊度取值 30 NTU，出水浊度小于 1NTU，SS 减排量（吨/年）=（进水浊度-出水浊度）×水量×转换系数。得出 40 座水厂 SS 减排总效益为 55042 吨/年。

因泥渣循环强化絮凝，混凝剂（PAC）投量减少，根据二氧化碳核算系数，得出 40 座水厂二氧化碳减排总效益为 3798 吨/年。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：北京市市政工程设计研究总院有限公司

联系人：薛广进

联系方式：13811031538

（八）新污染物治理技术装备

案例一：四川发展环境科学技术研究院有限公司活性炭吸附氟化工废水中新污染物及水热再生耦合技术与装备

一、技术适用范围

适用行业/领域：氟化工行业（如含氟精细化工、氟聚合物生产等）废水深度处理，含氟市政污水（如接纳氟化工企业尾水的市政污水处理厂）深度处理，以及其他涉及典型 PFAS（全氟和多氟烷基物质）污染的含氟废水处理场景。

应用效果：可高效去除水中典型 PFAS 物质，将出水 PFAS 浓度控制在 $\leq 10\mu\text{g/L}$ 的达标水平；同时通过水热再生技术实现活性炭循环利用，再生率 $\geq 85\%$ （循环 5 次），减少废活性炭固废产生量，降低固废处置成本，形成“废水净化-活性炭再生-资源回用”的闭环处理模式。

二、技术原理及工艺

1. 技术原理

吸附原理：基于专用高效活性炭的疏水作用、静电引力及孔隙截留效应，选择性吸附废水中的典型 PFAS 物质，实现水中污染物的分离去除。

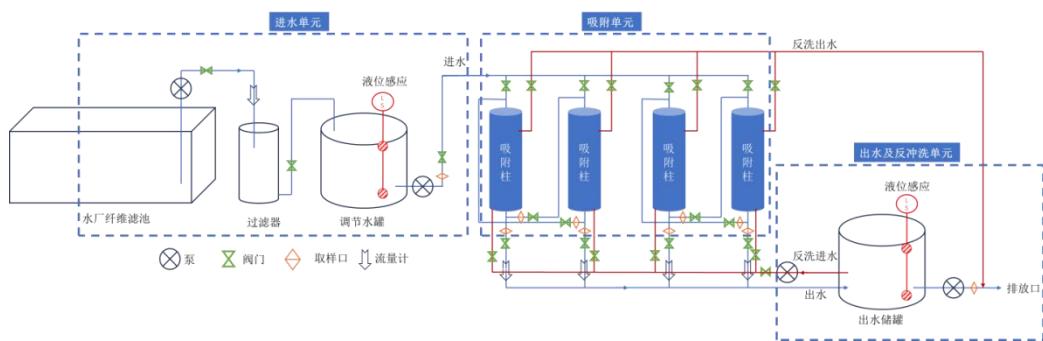
水热再生原理：在密闭反应装置中，以 $\leq 250^\circ\text{C}$ 温度、 $\leq 6\text{MPa}$ 压力为条件，结合碱剂（消耗量 $\leq 3\% \text{ w/w}$ ）作用，破坏活性炭表面吸附的 PFAS 化学键，使 PFAS 降解率 $\geq 95\%$ ；同时恢复活性炭孔隙结构与

吸附活性，实现活性炭循环回用，配套热量回收系统降低再生能耗。

2. 工艺流程

(1) 活性炭吸附工艺流程

废水→预处理单元（去除悬浮物、油类等干扰物质，悬浮物去除率 $\geq 80\%$ ）→一级活性炭吸附单元→二级活性炭吸附单元→达标出水排放。

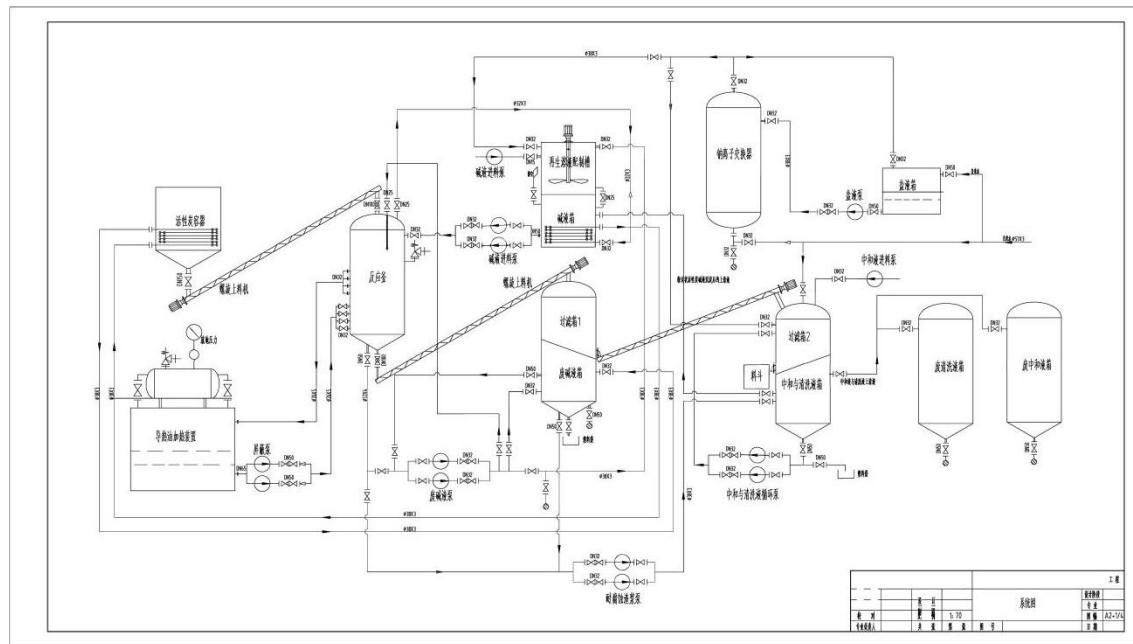


(2) 活性炭再生工艺流程

饱和状活性炭从容器经螺旋上料机进入反应釜再生，后续经螺旋出料机依次送至过滤箱1、过滤箱2，在过滤箱2中经中和液、清洗液（软化水或自来水）中和清洗（中和与清洗液循环泵辅助混合）后进入料斗。

再生碱液从碱液箱经碱液进料泵进入反应釜，产生的废碱液经废碱液泵入废碱液箱，部分废碱液可循环回反应釜或用于反应釜内部清洗（通过旋转喷嘴），反应釜排汽经碱液箱、活性炭容器内换热盘管后也进入废碱液箱，无再利用价值的废碱液排出系统；系统补水为自来水经钠离子交换器制取的软化水，供碱液配制槽（碱液箱）、中和与清洗液箱、盐液箱使用，钠离子交换器树脂通过盐液泵输送的盐液

再生，中和与清洗过程中产生的废液分别进入废中和液箱、废清洗液箱（或排放）。



三、技术指标

关键技术：去除典型 PFAS 物质的高效活性炭材料，典型 PFAS 物质活性炭吸附及再生装备。

技术指标：活性炭典型 PFAS 吸附容量 $\geq 160\mu\text{g/g}$ （实际工况），活性炭再生率 $\geq 85\%$ （5 次），炭损失率 $\leq 8\%$ ，吸附装备 PFAS 去除率 $\geq 90\%$ ，出水典型 PFAS 浓度 $\leq 10\mu\text{g/L}$ ，水热再生装备工作温度 $\leq 250^\circ\text{C}$ ，压力 $\leq 6\text{MPa}$ ，再生时间 $\leq 4\text{h}$ ，PFAS 降解率 $\geq 95\%$ ，活性炭再生能耗 $\leq 1500\text{kW}\cdot\text{h/t}$ ，碱剂消耗量 $\leq 3\%\text{w/w}$ ，吨水处理综合成本 ≤ 50 元。

四、技术特点及先进性

新污染物去除效率高：针对性开发高效活性炭材料，对典型 PFAS 吸附容量大、选择性强，实际废水处理中去除率超 90%，出水浓度远低于行业排放要求，解决氟化工废水新污染物治理难题。

资源循环与二次污染控制佳：水热再生技术实现活性炭循环利用；同时再生过程中 PFAS 降解率 $\geq 95\%$ ，避免吸附饱和炭带来的二次污染风险。

能耗与成本优势显著：配套热量回收系统降低水热再生能耗（ $\leq 1.5\text{kWh/kg}$ ），吨水处理成本 ≤ 20 元，较传统“吸附+废炭委外”处理模式，年成本节约 30%-40%。

五、推广前景

未来 3 年，预计在全国氟化工产业集中区（如四川、江苏、浙江、山东）及含氟市政污水厂推广应用 55-65 套装备，实现年产值 1-2 亿元，年销售量 18-22 套；可助力相关企业及污水厂年减排 PFAS 约 16-19 吨，年减少废活性炭固废约 2200-2600 吨；技术契合国家新污染物治理行动计划及“双碳”要求，成本优势与环保效益显著，在氟化工及含氟废水处理领域推广潜力大。

六、支撑单位信息

支撑单位名称：四川发展环境科学技术研究院有限公司

联系人：龚雪

联系方式：18351512373

二、应用类技术装备典型案例

(一) 大气污染防治装备

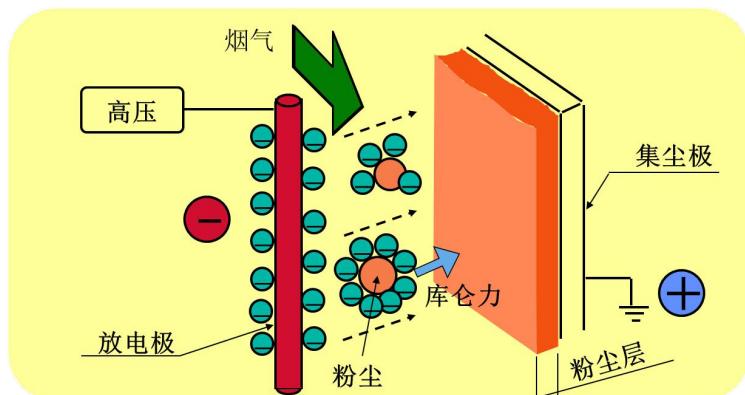
案例一：浙江菲达环保科技股份有限公司 1350MW 级机组配套超大型电除尘器

一、技术适用范围

产品适用于燃煤电厂、钢铁、化工、水泥等行业的工业烟气粉尘治理。在新能源比例增加导致燃煤机组负荷变动大的背景下，本项目技术体现了更大的优越性。

二、技术原理及工艺

产品基于静电力去除烟气中悬浮颗粒的装置，通过四室五电场结构和粉尘比电阻选型和调控方法，集合超大型电除尘本体关键部件的规模化、标准化和智能化制造技术，突破电除尘器出口颗粒物浓度的技术瓶颈，并降低设备用钢量和运行电耗。



技术原理图

三、技术指标

单台除尘器处理风量 $\geq 2500000 \text{m}^3/\text{h}$; 颗粒物排放浓度 $< 10 \text{mg}/\text{m}^3$;
燃煤机组运行负荷 1350MW; 脱除效率 $> 99.95\%$; 系统阻力 $< 200 \text{Pa}$;

漏风率 $<1.2\%$ 。

四、应用案例

项目名称：“申能安徽平山电厂二期工程 1350MW 机组电除尘器”项目。

项目概况：

项目应用静电除尘技术，投资规模 6619.79 万元，项目为新建工程，位于安徽省淮北市烈山区古饶镇。安徽平山 1350MW 燃煤锅炉设计煤种的燃煤量为 472.8t/h，在电除尘器选型设计时，由于该项目采用 1350MW 超超临界机组，单台炉工况烟气量达到了 $1440m^3/s$ ，根据电除尘器设计经验，电场内烟气流速取 $0.6\sim0.8m/s$ 的范围是比较合适的。由于结构及电源容量限制导致电除尘器单室有效高度一般最大为 15 米或 15.5 米，单室有效宽度一般最大为 16.4 米，因此，该 1350MW 机组采用 2 台四室五电场电除尘器。

从申能安徽平山电厂二期 1350MW 机组工程的成功投运情况看，设备运行高效、稳定可靠，受到了业主高度认可。根据测试结果显示，在额定负荷 1350MW 下，电除尘器出口烟尘浓度为 $8.1mg/m^3$ ，电除尘器除尘效率为 99.967%，除尘效率满足设计值 $\geq99.959\%$ 的要求；电除尘器本体阻力为 159.3Pa，本体阻力满足设计值 $<200Pa$ 的要求，电除尘器漏风率为 1.14%，本体漏风率满足设计值 $<2\%$ 的要求。由于电除尘器后部的湿法脱硫有一定的除尘效率，颗粒物排放 $<5mg/m^3$ ，实现了超低排放。



六、推广前景

产品已在多套 1000MW-1350MW 级燃煤机组得到推广，现累计签订合同订单 9 套，新增销售收入 111701.90 万元人民币，新增利润 13404.23 万元人民币，新增税收 2211.97 万元人民币。产品大型化后用钢量降低，除尘效率高且大幅降低运行电耗，一台机组用钢量降低 600 吨，每年约降低粉尘排放 5 万吨每年，降低能耗 75 万千瓦时，降低碳排放 14 万吨，在新能源比例增加导致燃煤机组负荷变动大的背景下，项目技术体现了更大的优越性，预计未来 3 年生产的电除尘成套装备出口俄罗斯、孟加拉、越南、土耳其、乌克兰等国家，可形成年销售量超 20 亿元。综合而言，本项目技术已逐渐成为工业烟气颗粒物治理的最佳实用技术之一，是未来国内环保设备大规模更新的最佳技术之一。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：浙江菲达环保科技股份有限公司

联系人：崔盈

联系方式：15957583178

案例二：青岛华世洁新材料科技股份有限公司旋转式有机溶剂吸附回收装置

一、技术适用范围

适用于包装印刷、黏胶带、涂装、涂布、化学制药、半导体、锂电等行业推广，适配中高浓度（ $1000\text{-}10000\text{mg/m}^3$ ）VOCs 废气，单台产品处理风量 $10000\text{-}60000\text{m}^3/\text{h}$ ，吸附入口温度 $<40^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $<75\%$ 。

二、技术原理及工艺

（一）技术原理

基于物理吸附 - 氮气热脱附 - 冷凝提纯 - 资源循环的工艺流程，其原理：常温下，蜂窝状复合吸附材料借分子间作用力捕获 VOCs；惰性氮气循环脱附浓缩 VOCs（倍率 5-30 倍），高浓度废气经多级冷凝相变回收粗溶剂；再通过旋转床除杂（酸含量 $\leq 200\text{ppm}$ ）与渗透汽化膜脱水（含水率 0.1-0.5%），得纯度 $\geq 99.5\%$ 的产品溶剂可循环利用

（二）工艺流程

预处理：废气经 F7 过滤器除粉尘、表冷器降温

转轮吸附：预处理后废气进入转轮吸附区，VOCs 被吸附，净化气达标排放；

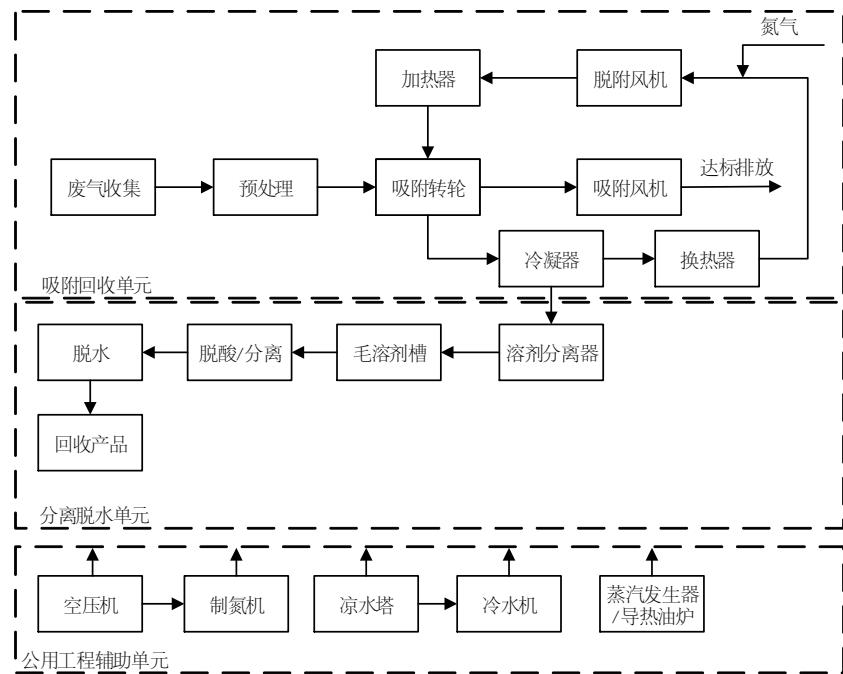
氮气脱附：氮气通入脱附区，VOCs 形成高浓度废气；

冷凝回收：高浓度废气经多级冷凝，溶剂相变收集为粗溶剂；

分离脱水：粗溶剂经旋转床除杂、膜脱水提纯，有效组成纯度

$\geq 99.5\%$ ，提纯后的产品溶剂返回到生产线循环利用。

(三) 工艺流程图



三、技术指标

单台产品处理能力：处理风量 $10000 \sim 60000 \text{m}^3/\text{h}$ ；进口参数
VOCs 浓度 $1000 \sim 10000 \text{mg/m}^3$ ，温度 $< 40^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $< 75\%$ ；
出口参数：废气 VOCs 浓度 $\leq 50 \text{mg/m}^3$ ，回收产品溶剂有效组成
纯度 $\geq 99.5\%$ ，含水率 $0.1 \sim 0.5\%$ ；
效率指标：根据入口浓度不同，VOCs 净化效率 $90 \sim 99.9\%$ ；
溶剂回收率： $75 \sim 90\%$ （回收溶剂的量/使用溶剂量+油墨中溶剂
的量）

能耗指标：回收单吨溶剂的运行费用约 $1500 \sim 2000 \text{元/t}$ 。

四、技术特点及先进性

(一) 核心技术特点

材料与结构创新，实现高效集约处理采用自主研发的蜂窝状转轮吸附材料 1 台转轮可替代 4 台传统固定床吸附设备，转轮分区（吸附区、脱附区、冷却区、吹扫区）连续旋转，无切换间隙，适配风量 $\pm 30\%$ 波动（如印刷机组换色工况），避免传统固定床切换时的排放超标问题，系统阻力 $\leq 2000\text{Pa}$ （吸附区），动力电耗降低 30%。

工艺耦合优化，兼顾环保与资源循环集成“氮气循环热脱附 + 多级冷凝 + 旋转床除杂 + 渗透汽化膜脱水”工艺，VOCs 浓缩倍率 5-30 倍；提纯后溶剂有效组成纯度 99.5%-99.95%、含水率 0.1-0.5%，可直接回用于生产；较传统焚烧法（RTO）大大减少溶剂资源浪费。

五、应用案例

项目基本信息

项目名称：东光县云瑞塑业有限公司 50000m³/h 印刷 VOCs 废气旋转式吸附回收装置

项目所在地：河北省沧州市东光县东光镇包装和设备智造园 B 区。

项目概况

（1）用户用能情况简单说明

项目应用旋转式吸附回收技术，总投资 700 万元（设备投资 500 万元，占比 71.4%）。

采用华世洁开发的旋转式吸附回收装置后，污染防治效果显著，通过第三方检测，烟囱出口非甲烷总烃浓度为 6.73mg/m³，根据治理入口浓度的波动及变化，净化效率达 90~99.9%。排放浓度满足 GB

41616-2022《印刷业大气污染物排放标准》；年回收乙酸乙酯、乙酸丙脂等溶剂 770 吨，回收溶剂有效组成纯度达 99.5%~99.95%，含水率 0.1~0.5%，可直接实现循环利用，回用率≥95%，替代新溶剂采购，年节省溶剂采购成本 462 万元，减少溶剂资源浪费。

采用溶剂回收技术，替代传统的燃烧法，与燃烧法相比，1 吨溶剂可实现 CO₂ 减排量 2 吨，本案例，每年可实现二氧化碳减排量为 1540 吨。塑料包装印刷行业年溶剂排放总量约 150 万吨，预估每年可实现二氧化碳 300 万吨。

（2）实施内容及周期

实施内容包括：印刷车间减风增浓设备改造、前端风管收集工程、钢平台、吸附单元、脱附冷凝单元、公用工程单元、分离脱水单元等。

实施周期：2 个月

六、推广前景

政策支撑：《2024-2025 年节能降碳行动方案》《印刷业大气污染物排放标准》等政策推动 VOCs 治理，出口型企业受欧盟 CBAM 机制倒逼升级；

行业应用：该技术已在包装印刷、黏胶带等行业得到应用，国内塑料软包装印刷企业约 6800-7200 家，仅 3000 家完成环保改造，年溶剂消耗 150-180 万吨，市场缺口大；该技术同时也可在涂布、涂装、化学制药、半导体、锂电池等行业推广，具有广阔的市场前景。

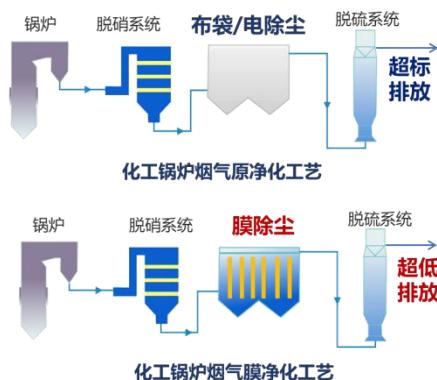
案例三：江苏久朗高科技股份有限公司粉体回收膜技术装备

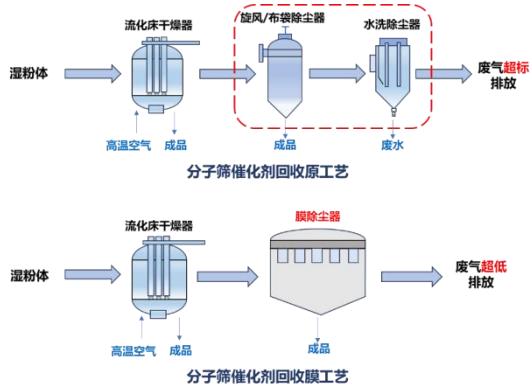
一、技术适用范围

适用于钢铁、水泥、化工等工业领域烟气除尘减污降碳及催化剂、钛白粉、染料等工业过程中高附加值粉体产品回收

二、技术原理及工艺

针对过程工业的烟尘净化、高附加值粉体产品回收等应用需求，发明了减污降碳气体净化膜技术装备，替代布袋过滤、水膜除尘等技术，简化分离回收工艺。传统滤料进行粉尘过滤时，因滤料纤维间孔隙较大，小粒径粉尘易穿透滤料而无法被有效拦截，致使除尘效率较低，其过滤效率主要依赖滤袋表面形成的滤饼层，且反吹操作难以清除纤维内部的粉尘，导致运行阻力较大。膜元件为减污降碳气体净化膜技术装备的核心设备，将传统的深层过滤转变为表面过滤模式。粉尘过滤主要通过表面膜层实现，该膜层孔径控制在 $0.1\sim3.0\mu\text{m}$ ，可精准捕集细颗粒物，显著提升粉尘捕集效率。针对油性溶胶和超细粉体在膜表面的吸附污染问题，膜表面进行疏水疏油改性和表面形貌控制，降低污染物在膜表面的吸附，有效降低运行阻力，同时延长了膜材料的使用寿命。





燃煤电厂锅炉系统工艺流程示意图 流化床干燥粉体回收工艺

流程示意图

三、技术指标

减污降碳气体净化膜技术在污染物控制和降碳减排方面成效显著，对粉尘截留率($0.3\mu\text{m}$) $>99.99\%$ ，对高价值粉体回收率 $>99.99\%$ ，粉尘排放浓度最低可降至 $1.1\text{mg}/\text{m}^3$ ，设备运行压差 $<1000\text{Pa}$ 。

四、技术特点及先进性

减污降碳气体净化膜技术装备针对工业烟气粉尘特征，开发出高透气率的膜材料，孔径、厚度等结构参数可调，膜材料的复合结构使“深层过滤”转变为“表层过滤”，不仅可以维持较高的过滤效率，还降低了运行阻力，有效延长了使用寿命。另外，通过分析工业烟气特征，基于计算流体力学的数值模拟方法(CFD)，模拟了膜装备内速度场、压力场以及粉尘浓度场的分布，优化了减污降碳气体净化膜的装填密度与膜元件尺寸，进行了气流分布系统设计，通过反吹喷嘴构型、位置、脉冲压力等参数优化，设计了在线和离线反吹系统，开发了减污降碳气体净化膜技术装备，在化工企业燃煤锅炉、生物质锅炉、废弃物焚烧等烟气除尘减污降碳，以及催化剂、钛白粉、染料等粉体产品回收中实现规模应用，净化后气体粉尘浓度小于 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，优于国家

超低排放标准 10 mg/m^3 (环发[2015]164号)，能耗较布袋除尘降低 $1/3$ 以上，可减排二氧化碳近百吨/年。

五、应用案例

(1) 项目名称：浙江巴陵恒逸己内酰胺有限责任公司膜法除尘超低排放改造项目

(2) 项目所在地：浙江省杭州市萧山区临江工业园区

(3) 项目概括：浙江巴陵恒逸公司共计 1000t 高温高压循环流化床燃煤锅炉的原有除尘设备粉尘排放浓度在 20mg/m^3 左右，无法达到超低排放的要求，面临锅炉改造花费大量资金的压力。

浙江巴陵恒逸公司采用减污降碳气体净化膜技术装备对布袋除尘器进行改造，建成排放量 220 万 m^3/h 膜装置，净化后粉尘浓度 3.52mg/m^3 ，每年可降低粉尘排放量 317.6t，同时运行能耗大幅下降，膜装置较原布袋能耗降低 $1/3$ 以上，引风机电能降低，每年节约风机电费等 250 万以上，减少二氧化碳排放量超 4000 吨。减污降碳气体净化膜技术装备降低除尘器压差下降的同时促进锅炉负荷提升了 8%，富产蒸汽使己内酰胺产能提升了 2 万吨/年，年新增产值超过 2 亿元。

(4) 项目现场图片：



六、推广前景

简要描述推广前景，不超，过 300 字，尽量包含未来 3 年内可实现的年产值、年销售量、主要污染物年减排量等信息。

大气污染物高效治理是国家可持续发展的重大战略需求，减污降碳气体净化膜技术装备可促进电力、钢铁、水泥、电力等传统产业的升级改造，加快提升相关产业的自主创新与清洁生产能力。预计三年内重点行业（如燃煤电厂、钢铁烧结机、水泥窑等）的普及率可达 40%-45%，非电行业（如生物质锅炉、有色金属冶炼）普及率逐步提升至 20%-30%，京津冀、长三角、汾渭平原等重点大气污染防治区域普及率将高于全国平均水平，预计达到 50%-55%，总投入规模约为 45-120 亿元，累计减排粉尘 9.86 万吨，减排二氧化碳 37.49 万吨，同时减少 SO₂、NO_x 等协同污染物排放约 5%-10%。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：江苏久朗高科技股份有限公司

联系人：周虹佳

联系方式：15062285769

案例四：广州市华滤环保设备有限公司无金属化高通量动态密封过滤装备

一、技术适用范围

适用于电力、钢铁、有色、水泥、新能源、化工、食品、医药等轻、重工业的除尘、集尘领域的高效、可靠的环保与节能一体化建设。

二、技术原理及工艺

本技术装备以多级协同作用原理为基础，借助无金属化结构设计与高通量动态密封系统的集成创新，达成减污降耗与节能增效的协同优化。其核心技术原理在于运用重力沉降段、动态预分离模块、精密过滤层构成的三级梯度过滤体系，高效截留污染物。同时，通过无金属化折叠式立体滤筒设计、CFD 优化的褶数-褶深配置、无轧点滤料加工工艺这三项技术创新，实现能耗的优化。

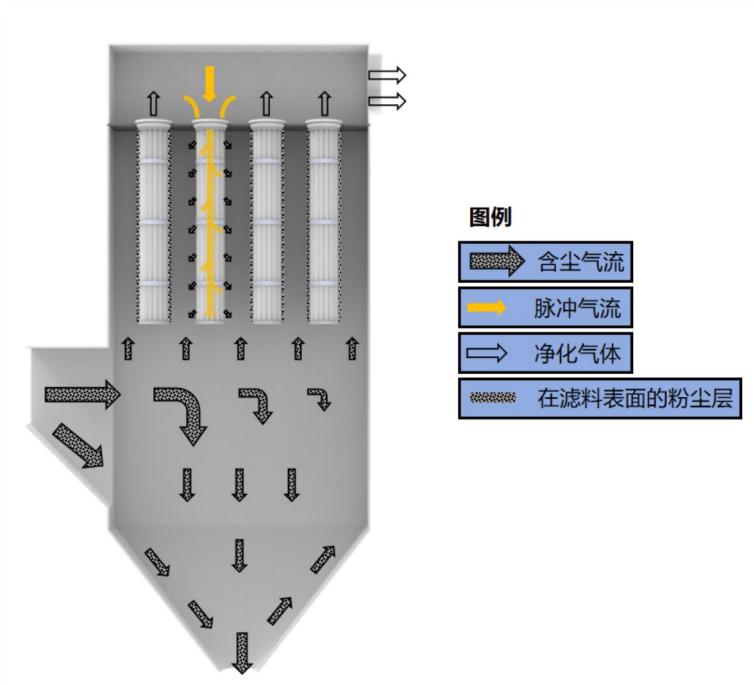


图 1 技术装备原理图

三、技术指标

1、粉尘颗粒物排放浓度严格控制在 $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2、除尘器运行阻力较传统设备降低 $\geq 30\%$ 。

3、除尘器运行能耗降低 $\geq 30\%$ 。

四、技术特点及先进性

采用的“无金属化高通量动态密封减污降碳集成过滤装备”并非简单过滤技术升级，而是集成减污与节能双重技术模块。它提升除尘效率、实现超洁净排放，同时降低过滤阻力；动态密封结构减少系统泄漏，避免风机额外能耗；研发高分子材料骨架技术，提升滤筒垂直度和稳定性，避免金属骨架强度不足、易腐蚀问题，还避免了废旧滤筒回收时需分离金属与非金属材质的繁琐操作及成本升高问题。该技术装备形成全链条节能减碳解决方案，推动行业从末端污染治理向全生命周期绿色化转型，对可持续发展有重要示范意义。

五、应用案例

项目名称：上海宝钢炼钢扒渣烟气除尘器技术改造项目。

项目所在地：上海市宝山区上海宝钢炼钢厂。

项目概况：

(一) 用户使用情况说明

上海宝钢炼钢扒渣烟气除尘器技术改造项目应用“无金属化高通量动态密封减污降碳集成过滤装备”技术对一炼钢扒渣除尘器进行系统性改造，其投资成本为 336 万元，投资回收期为 < 3 年。

项目应用前：袋式除尘器受制于传统结构与滤材性能局限，运行

压差长期维持在 $>2000\text{Pa}$ 的高阻力区间，导致系统能耗激增、风机负荷过重；同时，粉尘排放浓度超过国家相关环保标准限值，无法满足钢铁行业日益严苛的超低排放指标限值（ $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ ）的要求。

项目应用后：除尘器运行阻力成功降至 $<1200\text{Pa}$ ，较改造前降低幅度达 40%以上，有效降低了风机运行功耗与设备维护成本。经检测粉尘颗粒物排放数据均值降至 $<3.1\text{mg}/\text{m}^3$ ，实现超洁净排放。项目每年可减少能源消耗超 2509MWh，以工业电价 0.55 元/度为基准，年度节约成本超 138 万元。同时，该技术应用每年可实现节约标准煤 764 吨，减排 CO₂量 1525 吨，有效助力企业达成碳减排目标。

（二）实施内容及周期

1.本次改造采用“无金属化高通量动态密封减污降碳集成过滤装备”滤筒，通过安装 4800 支 $\Phi 160\times 3000\text{mm}$ 规格滤筒，构建起高效过滤体系。该装备突破传统金属骨架易腐蚀、密封失效等技术瓶颈，通过动态密封结构设计，实现系统运行过程中的零泄漏与低阻力，从技术原理与装备配置层面彻底解决原有设备的性能短板；

2.项目于 2020 年 7 月启动建设，基于精细化的项目管理与高效施工组织，仅耗时 16 天便完成全部工程内容，于 2020 年 8 月顺利竣工并投入连续稳定运行，至今已安全稳定运行超 5 年，改造规模涉及处理风量达 $120\times 10^4\text{m}^3/\text{h}$ ，属于大型工业除尘系统改造工程。



六、推广前景

本技术累计服务总处理风量占全国粗钢行业总风量的5.40%-5.39%。随着技术推广与认可，预计3年后在钢铁、水泥、新能源等重点行业普及率将提升至15%-20%。

同时，设备运行能耗降低、维护成本减少，预计3年后年节能总成本超6亿元。社会效益方面，可带动上下游就业，促进产业技术升级，提升高分子材料、智能装备等领域国产化率。此外，以上海宝钢项目推算，3年后年CO₂减排量预计超60万吨，显著的碳减排量将为企业带来碳交易收益，促进绿色金融发展。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：广州市华滤环保设备有限公司

联系人：刘盛牡

联系方式：13076840952

案例五：广东风和洁净工程有限公司中空纤维膜重金属烟气粉尘痕量级处理装备

一、技术适用范围

适用于钢铁、有色、水泥、固废焚烧等烟气中粉尘微克级处理和资源精确回收。

二、技术原理及工艺

制成重污染烟气专用中空纤维膜膜丝，其膜孔径为 $0.1\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ 的窄缝型膜孔，平均孔径 $2.5\mu\text{m}$ ，孔隙率 65%--70%，膜丝直径 4.5mm，内孔直径 3mm。膜丝长度 600--1200mm。将膜丝以 2—10mm 距离间隔排列组成膜组件，以膜组件阵列以及、反吹系统、风机、箱体、监控系统等部件组成重污染烟气痕量级过滤装置。

三、技术指标

处理水泥窑尾烟气实验装置，风量 $3200\text{m}^3/\text{h}$ ，仓压 1398pa。上游粉尘浓度 $50\sim 80\text{g/m}^3$ ，下游为 $90\mu\text{g/m}^3$ ；处理效率 99.999988%。

处理熔铅炉烟气工业化规模实验装置，风量 $41400\text{m}^3/\text{h}$ ，仓压 1450pa，上游铅颗粒物 $79\sim 223\text{mg/m}^3$ ，下游为“未检出”；上游铅及其化合物 $18.3\sim 62\text{mg/m}^3$ ，下游为 $4.8\sim 7.2\mu\text{g/m}^3$ 。

四、技术特点及先进性

综合了高效过滤器（hepa）的高精度和布袋的高容尘量、大风量、低风阻优点，形成新型滤材。具有耐腐蚀、易清理、耐高温（180--200 度）的特点，同表面积长度为传统布袋的 6 分之一，设计寿命为 10 年，造价低于高档布袋，过滤精度提高 1000 倍以上。

五、应用案例

项目名称：电解车间溶铅炉铅烟痕量级处理装置

项目所在地：深圳市中金岭南有色金属股份公司韶关冶炼厂

项目概况：属于该厂火法铅冶炼工艺升级改造的一部分。替代原有布袋除尘器，新建铅烟痕量级处理装置 1 座，处理风量 120000m³/h，最大风阻 1200pa，上游铅烟浓度 800mg/m³时，烟囱出口检测，铅颗粒物未检出；铅及其化合物为 0.2——0.7ug/m³，优于冶炼铅现行排放标准 7 个数量级，达到大气本底铅及其化合物标准。汞及其化合物未检出。

六、推广前景

在不增加风阻和造价的前提下，将烟气中重金属、多环芳烃、二噁英等等颗粒物成分降低 1000 倍以上，从整体上看，不仅具有巨大的生态意义，也极大拓展了排放指标空间。

滤材长度降低了 6 倍，可节约 3 分之 1 的除尘器建造钢材；寿命延长了 3-10 倍可节约大量更换和维护成本；省去了初效和中效过滤环节，省去了水洗、旋风除尘环节，工艺流程大幅缩短，设备简化，能耗降低；材料可回收，避免了二次污染，减少了处理费用。

本技术特别适用于放射性粉尘的精确彻底拦截；适于金、银、锂、铍、铼等贵金属火法冶炼的资源回收；适于喷漆尾气处理中的油漆渣预处理；适于垃圾焚烧、钢铁、有色冶炼、焦化、水泥、选矿等各种工况的粉尘处理。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：广东风和洁净工程有限公司

联系人：苏雁

联系电话：19928700928

(二) 水污染防治装备

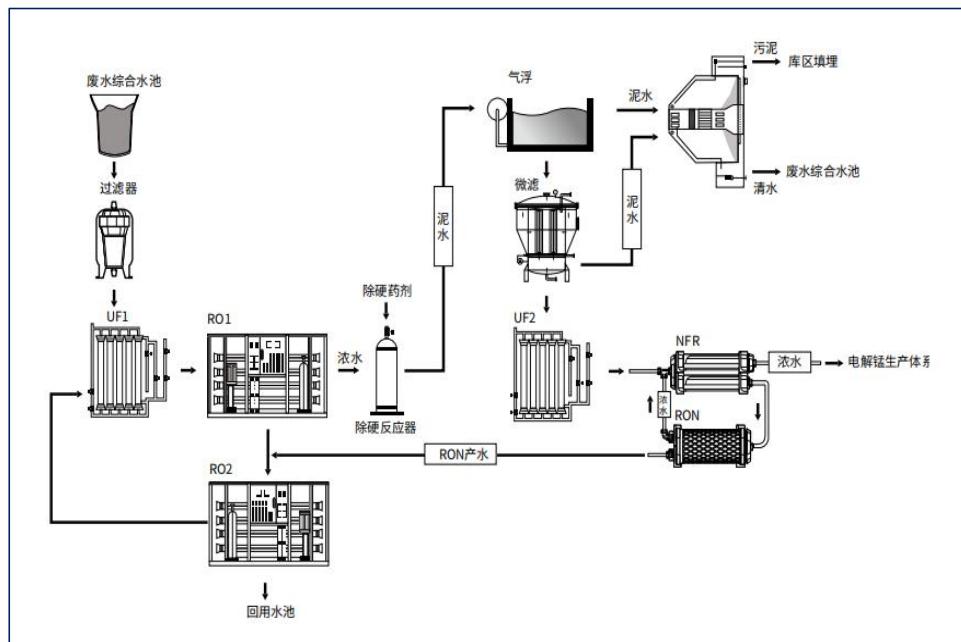
案例一：广西华创环保集团有限公司高氮高盐废水处理与资源化利用
技术装备

一、技术适用范围

涉重金属冶炼废水、铝阳极氧化/铜箔电解废水、稀土分离酸溶/萃取工序废水、电镀/酸洗废水。

二、技术原理及工艺

采用“诱导结晶+阻垢膜分离+自动化控制”集成工艺，通过诱导结晶技术调控废水中钙、镁等离子形态，延缓膜污染；利用改性聚酰胺膜对重金属和氨氮的高效截留与选择性分离，实现废水深度净化和资源回收；结合 PLC 与物联网系统，实现全过程智能监控与优化运行。



工艺流程图

三、技术指标

处理规模：2000m³/d（可根据需求扩展）；

进水指标：NH₃-N≤3000mg/L，总锰≤3000mg/L，总硬度≤15000mg/L，电导率≤30000μS/cm；

出水指标：NH₃-N≤8 mg/L，总锰≤1 mg/L，总硬度≤100 mg/L，电导率≤150μS/cm；

去除率：Mn≥99.8%，NH₃-N≥99.5%，硬度≥99.6%，电导率≥99%；产水回用率≥60%（电导率：20000-30000μS/cm），产水回用率≥75%（电导率≤20000μS/cm）。

四、技术特点及先进性

（一）高脱除率：本技术装备可高效截留废水中各类无机盐（Na⁺、Mg²⁺、Mn²⁺、NH₄⁺、Cl⁻、SO₄²⁻等），保障产水水质满足回用标准。

（二）重金属资源化利用：氨氮和金属 Mn 回收率>98%，工程产水可直接回用于生产，实现资源化利用。

（三）工程启动快，运行稳定：快速部署安装，缩短工期，工期从传统 6-8 个月缩短到 2-3 个月。

（四）灵活扩容、空间占用小、自动化程度高：可分期建设，根据水质水量分阶段增加膜设备模块；膜系统占地面积仅为传统沉淀工艺的 1/3~1/2，适合厂区空间受限场景；PLC/DCS 控制实现无人值守，降低人工运维成本。

该技术与装备实现锰、氨氮等有价资源回收，废水回用率可达 60%~75%，浓缩液回用于生产系统。

五、应用案例

项目名称：电解金属锰新建含锰废水回收处理系统项目（2000

m^3/d)

项目概况:

(一) 用户用水与排放情况

项目应用前: 废水含锰 1420 mg/L、NH₃-N 1650 mg/L、硬度 9800 mg/L, 电导率 32000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

项目应用后: 出水锰≤1mg/L, NH₃-N≤5 mg/L, 总硬度≤100mg/L, 电导率≤100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。产水回用率超 60%, 年回收金属锰和硫酸铵均超千吨。净碳减排量 17,032 t/a。

(二) 实施内容及周期

本项目采用“预处理-膜浓缩-资源回收”的总体设计。实施方案包括建设诱导结晶、膜分离及自动化控制等核心单元。采用诱导结晶技术去除钙镁硬度, 保障后续系统稳定运行; 应用自主研发的阻垢改性聚酰胺膜技术, 实现重金属与氨氮的高效分离与浓缩。集成诱导结晶反应器、专用膜改性装备及智能 PLC 控制系统。

新装置实现了硬度的定向去除与膜的在线功能强化, 新系统则通过实时监控水质参数与设备状态, 确保全过程自动化、高效稳定运行。项目 2023 年 8 月建设, 2023 年 11 月调试, 2024 年 2 月验收, 正常运行 22 个月。



电解金属锰新建含锰废水回收处理系统项目实景图

六、推广前景

随着国家对重金属污染防控、工业废水回用和“双碳”目标要求的不断提高，该技术在电解锰、稀土、钨钼、铜镍、铅锌等有色行业具有广阔应用前景。预计未来五年在广西、湖南、四川等地推广率可达20%，年处理废水能力达1000万m³，年回收金属资源超万吨，回收NH₃-N资源数千吨，具备显著的经济与环境效益。

七、支撑单位信息

支撑单位名称： 广西华创环保集团有限公司

联系人： 王雨红

联系方式： 13317718577

案例二：河北乐恒节能设备有限公司锂电材料回收提取技术装备

一、技术适用范围

三元锂电池黑粉回收萃余液提锂技术、正极材料洗水提锂技术，通过对不同回收含锂废水的净化浓缩，处理高盐废水的同时，制造用于生产电池正极材料的原材料，碳酸锂产品。

二、技术原理及工艺

含锂废水溶液主要成分为 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Li^+ 等离子的高盐废溶液，通过除杂净化技术、MVR 蒸发结晶技术、冷冻结晶技术、沉锂反应技术、三合一新型应用技术等，实现废水中高价值锂资源的回收利用，同时高盐废水得到净化处理，废水中的水资源得到回收利用。主要工艺原理如下：

废水原料 → MVR 预浓缩 → 连续冷冻结晶分盐 → 深度净化除 $\text{Ca}/\text{Mg}/\text{重金属}$ → 高纯苛化液 → 沉锂反应 → 三合一过滤、洗涤、干燥 → 电池级碳酸锂/单水氢氧化锂自动包装。

三、技术指标

原料废水进料指标： $\text{Li}-3.8\text{g/L}$ ， $\text{Na}-50.4\text{g/L}$ ， $\text{SO}_4-154.9\text{g/L}$ ，
 $\text{Ca}-0.018\text{g/L}$ ；

设备运行条件：

MVR 系统蒸发温度 90°C ；运行压力 -30kpa ；连续化冷冻结晶系统冷冻温度 5°C ；运行压力常压；碳酸锂生产温度 $\sim 95^\circ\text{C}$ ；运行压力常压；碳化热解提纯技术，碳化温度 25°C ；热解温度 95°C ；运行压力 50kpa ；三合一系统运行温度： 90°C ；运行压力 300kpa ；

产物指标:

原料废水处理后，蒸发冷凝水 TDS < 100mg/L；满足工业水排放和回用标准；系统副产元明粉：干燥后产物主含量 > 99%；含尘尾气排放 < 10mg/m³；系统主产物电池级碳酸锂：主含量 > 99.5%，含尘尾气排放 < 10mg/m³；

关键技术:

新型三合一应用技术，将三合一应用于碳酸锂生产工艺，降低蒸汽和电力能源消耗，综合节能 50%。

产线结合新技术应用，实现废水资源化回收利用。

四、技术特点及先进性

1. 工艺采用过滤洗涤干燥机（三合一）集成技术，碳酸锂产品生产过程中，过滤、洗涤、干燥一体化，装备占地面积对比同类工程产品节约 70%，能耗对比同类产品节能 50%；

2. 工艺采用 MVR 高效蒸发系统，实现废水浓缩过程中，水分的分离达到回收使用和排放标准。MVR 系统关键设备离心式蒸汽压缩机为自主设计制造，整体能耗较传统蒸发降低 70%；

采用连续冷冻脱硝工艺，动态结晶控制，减少人工操作，提高副产物硫酸钠纯度≥99.2%，减少锂资源损耗；

五、应用案例

项目名称:

浙江新时代中能科技股份有限公司年产 10000 吨电池级碳酸锂项目湿法段项目。

项目概况：

（一）用户用能情况简单说明

该项目应用含锂废水的净化提取技术，投资规模 1.6 亿元。项目应用前：

客户已建年产能 5000t/y 湿法回收线，处理含锂废水 35m³/h，生产电池级碳酸锂产品 630kg/h，产线用电量 6500kW·h，生蒸汽用量 10t/h。

项目应用后：

扩产后产线产能提升至 10000t/y：处理含锂废水 70m³/h，生产电池级碳酸锂产品 1300kg/h，产线用电量 10300kW·h，生蒸汽用量 15.85t/h。通过含锂废水新型技术扩产改造，处理每吨废水用电消耗减少 185kW·h，年节约用电 14708557 kW·h，吨水处理蒸汽消耗减少 0.059t，年节约蒸汽 2262t。

（二）实施内容及周期

1. 项目集成 MVR 浓缩结晶、连续冷冻脱硝、电池级碳酸锂合成及三合一过滤-洗涤-干燥四项核心技术，一步完成提锂、脱盐与净水回用，吨水能耗下降 35%，占地减少 40%，破解高盐含锂废水“高能耗、大占地”瓶颈。

2. 该锂电材料回收提取技术装备项目，从项目立项、设计、制造、安装、调试投产，实施周期为 9 个月。

六、推广前景

随着动力电池退役潮来临，国内对锂资源回收与含锂废水排放管

控同步收紧，低成本、高收率提锂技术成为行业刚需。预计未来五年，该“MVR-冷冻脱硝-沉锂”一体化装备在江西、湖南、福建、青海等锂电循环产业集群推广率可达 20%，总投入约 180 亿元，年新增电池级碳酸锂产能 15 万吨，年削减高盐废水排放 1200 万 m³、减排 CO₂ 约 120 万 t、回收 Li₂CO₃ 替代矿石开采年节约标煤 85 万 t，为锂行业“双碳”目标提供硬支撑。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：河北乐恒节能设备有限公司

联系人：马传苹

联系方式：卢正佳 13393064196

案例三：水艺环保集团股份有限公司垃圾渗滤液一体化处理高效反应器

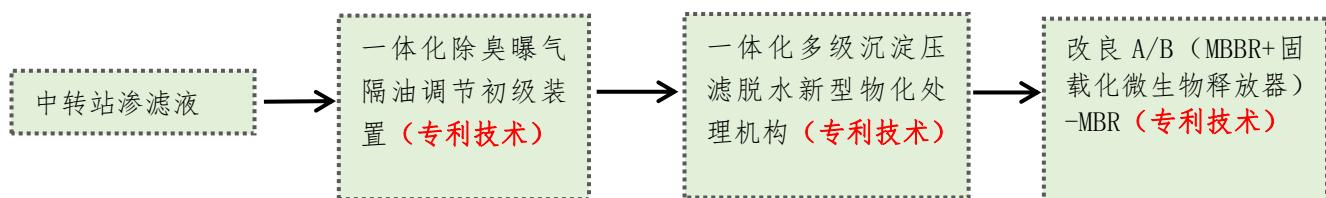
一、技术适用范围

应用行业及场景：生活垃圾转运站渗滤液就地收集、就地全量化达标处置领域。

应用效果：经 SY-X 新型垃圾渗滤液处理一体化高效反应器处理后，出水水质达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T31962-2015) 或《上海市污水综合排放标准》(DB31/199-2018) 或《污水综合排放标准》(GB8978-1996)。

二、技术原理及工艺

本产品对于生活垃圾转运站渗滤液，采用除臭曝气隔油调节初级装置及一体化多级沉淀压滤脱水新型物化处理联合工艺，在预处理中实现高效除油除磷除悬浮物。经过上述预处理后，再进入后续工序改良 AB 法+MBR 平板膜联合生化工艺，绝大部分溶解性有机污染物、氨氮和总氮等，在生化阶段，通过微好氧实现同步脱氮除碳，绿色安全、高效降解，出水水质达到纳管标准排放。上述组合工艺制成集约一体化装备，并配套物联网远程智慧管理平台，在高效去除高浓度污染物的同时，有效解决传统垃圾转运站渗滤液处理工艺运维管理复杂/处理成本高诸多技术难题。工艺流程图如下：



三、技术指标

SY-X 新型垃圾渗滤液处理一体化高效反应器，在无浓缩液、邻避效应好、自控水平高、占地面积小等前提下，能对垃圾中转站渗滤液绿色安全高效处理，预处理段对油类、总磷、悬浮物去除效率 $\geq 95\%$ ，有机污染物负荷去除效率可达 40%~50%，与传统渗滤液处理工艺相比，生化工艺段污染物整体去除效率提高 2~4 倍，无硝化液回流，脱氮效率 $\geq 95\%$ ，CODcr 去除效率 $\geq 99\%$ ，膜寿命 ≥ 5 年（行业平均 3 年），占地面积约为 1/2，药剂和电能综合可节约 30%~50%。

设备出水水质指标优于《污水排入城镇下水道水质标准》(GB31962-2015)主要水质排放标准（参见下表）。

序号	控制污染物	进水水质	出水指标
1	化学需氧量 CODCr (mg/L)	10000~95000	500
2	生化需氧量 BOD5 (mg/L)	6000~57000	350
3	总氮 (mg/L)	1200	70
4	氨氮 (mg/L)	900	45
5	总磷 (mg/L)	500	8
6	动植物油 (mg/L)	≤ 1200	≤ 50
7	SS (mg/L)	10000	≤ 50
8	pH	3.5~5.0	6.5~9.5

四、技术特点及先进性

SY-X 新型垃圾渗滤液处理一体化高效反应器由水艺环保集团研发，其技术创新水平可定位为国内领先水平，并在部分关键技术上达到国际先进水平。SY-X 新型垃圾渗滤液处理一体化高效反应器的创

新体现了垃圾渗滤液全量化细分领域内中国环保装备技术攻关的成果，其技术路线对与之类似的高浓度有机废水全量化处理市场具有重要参考价值。

五、应用案例

1.项目建设背景：

该中转站东北两面是开放式河道，西面是稻田，对面及河对岸是村民区，周围环境敏感。

站内产生清洗废水因污染严重，无法直排市政污水管网，长期积存在站内水塘内，渗滤液则不仅委外处理费用高昂，且很难及时清运。

为彻底解决上述问题，宗汉街道联合水艺集团，2022年投资建设一套渗滤液处理系统。经处理后，水质达到GB31962-2015标准，全部排入市政污水管网。

2.设备应用前后污染物排放对比表：

序号	控制污染物	处理前进水水质	处理后出水水质
1	COD _{Cr} (mg/L)	≈40000	200
2	TN (mg/L)	≈1000	70
3	氨氮 (mg/L)	≈720	45
4	TP (mg/L)	≈120	8
5	色度	/	64
6	SS (mg/L)	3200	50
7	pH	≈5	6.5~9.5

3.项目经济技术核算：

该项目渗滤液处理量5吨/天，运行时间：预处理8h，生化24h。

4.项目总投入：设备一次性总投资 239800 元，药剂投入 64925 元/年。

5.主要污染物年减排量：CODcr \approx 72.74 吨/年，TN \approx 2.086 吨/年，TP \approx 0.25 吨/年.

6.成本节约效果：

委外处置成本 500 元/吨（不含运输），年渗滤液 474.5 吨，该设备吨水处理成本约 35 元（药剂+电耗），合计年成本节约共计 220000 元。

通过物联网远程监控和自动化控制，每年减低人工管理成本约 8 万元。

7.环境生态效益

(1)消除恶臭排放，改善环境质量

消除了渗滤液及冲洗废水臭味和潜在的河道水质污染问题，水塘转为以收集雨水为主的景观池塘，大大改善了站内工作和周围自然环境。

(2)减少全生命周期环境足迹

通过技术创新实现了污染物就地收集就地全量化处置，其环境效益覆盖水质安全、大气质量改善、资源循环利用等多维度。

六、推广前景

1. 政策驱动

国家“十四五”规划及《生活垃圾治理专项规划》明确要求垃圾渗滤液全量化处理，禁止直排或简单转运，推动行业向绿色高效处理方式转型。

2.市场需求

根据垃圾转运站渗滤液产生机制及行业数据，预计 2028 年全国生活垃圾转运站渗滤液总量约为 1391 万~2898 万吨/年。

截至 2022 年，全国渗滤液处理设施配套率仅 46.74%，大量渗滤液依赖外运或直接排放。

3. 年销售量预测：2024 年 SY-X 新型垃圾渗滤液处理一体化高效反应器实现销售额约 3000 万元，预计 2025 年可实现销售额约 5000 万，2026 年、2027 年可实现销售额约分别为 6000 万和 7000 万元。

4. 年减排总量核算：从 2024 年至 2028 年，预计可新增垃圾转运站渗滤液处理量 5250 吨/年，2028 年可实现年主要污染物减排量：COD 约 94854.38 吨，总氮约 1782.11 吨，总磷约 559.55 吨。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：水艺环保集团股份有限公司

联系人：汪召楼

联系方式：13486047709

案例四：中国长江三峡集团有限公司初期雨水和溢流污水原位分质净化技术装备

一、技术适用范围

适用于城市初期雨水、合流制溢流污水、混排污水等原位净化。

二、技术原理及工艺

通过生物吸附降解单元吸附去除污水中的 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等污染物，升流式物理截留单元通过吸附与截留作用去除颗粒态污染物，并根据城市初期雨水和溢流污水分时特征灵活调整物理和生物单元的处理流程，实现了污水的分质净化。

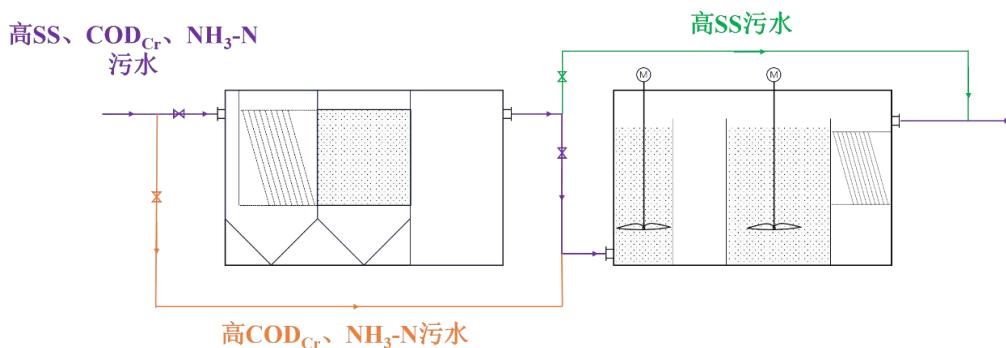


图 1 一体化装备处理工艺流程图

三、技术指标

控制指标：进水水质：SS：80 mg/L~650 mg/L； COD_{Cr} ：70 mg/L~500 mg/L； $\text{NH}_3\text{-N}$ ：3.0 mg/L~30.0 mg/L；出水水质：SS≤10 mg/L； $\text{COD}_{\text{Cr}}\leq 30\text{mg/L}$ ； $\text{NH}_3\text{-N}\leq 1.5\text{mg/L}$ ；主要指标达《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）IV类标准。

性能指标：生物吸附降解总 HRT<5.0h，生物吸附容量 16.2 $\text{kgCOD}_{\text{Cr}}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ ，微生物活性维持>30 天（停水条件）；物理截留表面负荷达到 $30 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，功能滤料水接触角≥120°，填充率

50%~60%；碳源和药剂零投加。

四、技术特点及先进性

生物吸附降解技术在旱季条件下长期维持微生物活性，升流式超高速物理截留技术在不投加药剂条件下高效去除颗粒污染物，结合不同降雨时段的水量水质特征，灵活调整生物与物理单元的处理过程，实现污染物的分质分时净化，主要指标达《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) IV类标准。

五、应用案例

项目名称：重庆巴南土桥等4座水质净化站
重庆市巴南区于土桥、界石、宗申、大山村4条雨水箱涵末端，在调蓄收集后对初期雨水与混排污水进行净化处理。应用本技术装备后对SS、COD_{Cr}、NH₃-N的年均负荷削减量分别达到2367.13t/a、1553.43t/a、197.00t/a，可确保出水中COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N浓度稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) IV类标准，SS浓度低于10mg/L。



图 2 应用案例现场图

六、推广前景

降雨径流和溢流污染已成为我国城市水环境质量进一步提升的主要障碍，原位净化技术装备需求迫切。预计 3 年内，该技术装备总投入数量约 40 台（套），总投入 3.0 亿元，SS、COD_{Cr}、NH₃-N 的年均负荷削减量分别达到 6.12 万 t/a、3.56 万 t/a、0.42 万 t/a。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：中国长江三峡集团有限公司长江经济带生态环境
国家工程研究中心
联系人：赵云鹏
联系方式：15910289668

案例五：江苏南极机械有限责任公司机械过滤+膜分离+充氮驱氧船舶压载水管理系统

一、技术适用范围

适用于各类远洋船舶装载的压载水的达标处理，以防止异地排放而造成外来生物的迁移。

二、技术原理及工艺

系统采用滤器单元和膜分离单元去除粗大颗粒、微生物甚至细菌；同时充入惰性气体——氮气，抑制微生物的生长和繁殖。卸载压载水时，可直接由压载泵排至舷外。

创新技术：机械过滤+膜分离+充氮去氧+智能监测

1) 特种微滤膜和膜法分离装置。有效分离压载水中的生物和细菌等，并利用自动清洁装置实现了连续高效过滤，解决了化学处理带来的二次污染和腐蚀舱壁问题。2) 分子筛制氮驱氧系统。压载时利用分子筛制氮装置使氮气充分溶解于压载水，去除压载水中的氧气，解决了生物在压载舱内生长和繁殖的问题，使之满足舰船长期航行时压载水的排放标准要求。3) 压载水处理智能监控系统。可以实时监测系统的运行状况，实现了设备的智能化运行，解决了压载水控制系统智能化程度低的问题。4) 压载水管理全生命周期系统。运用大数据平台实现了对设备各个环节的全过程跟踪与管理，提高了设备管理工作效率，延长了产品的使用寿命。

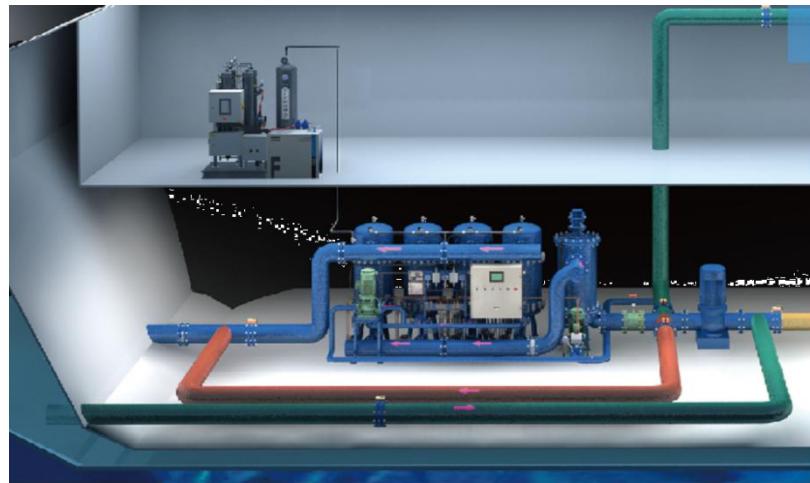


图 1：船舶安装纵观图

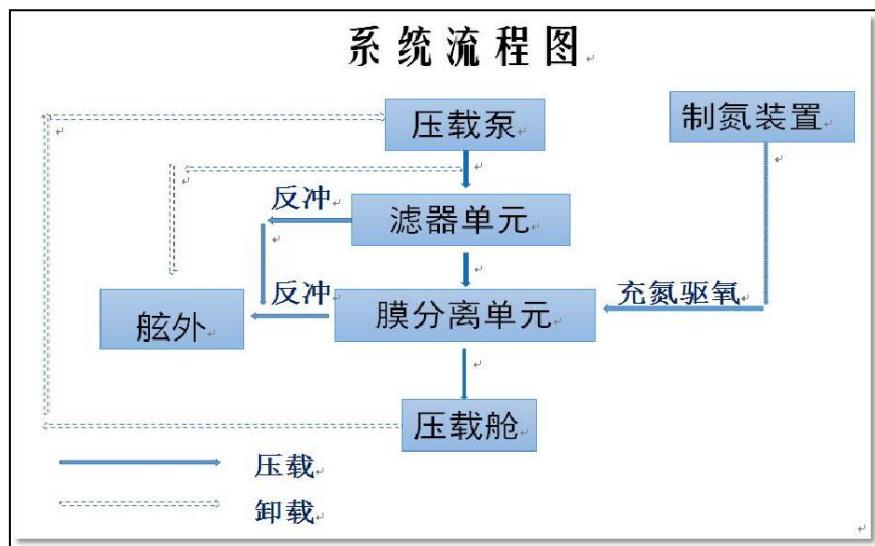


图 2：系统工艺流程图

三、技术指标

排放水质满足 IMO 国际公约（ D-2、USCG）排放标准要求：
大于等于 $50\mu\text{m}$ 微生物 ≤ 10 个/ m^3 ；大于等于 $10 \sim < 50\mu\text{m}$ 微生物 ≤ 10 个/ ml ；埃希氏大肠杆菌 $\leq 250\text{cfu}/100\text{ml}$ ；肠道球菌 $\leq 100\text{cfu}/100\text{ml}$ ；霍乱弧菌 O1、O139 $\leq \text{fu}/100\text{ml}$ ；

四、技术特点及先进性

系统采用“机械过滤+膜分离+充氮去氧+智能监测”纯物理处理工

艺，具有高效、节能、高可靠、智能化等特点，取得了多项发明及实用新型专利等自主知识产权，主要应用于各类远洋船舶。系统填补了国内空白，技术达到国际先进水平，获得首届中国军民两用技术创新大赛金奖。

五、应用案例

项目名称：上海外高桥造船有限公司 10 艘 40 万吨矿砂船的配套“高效智能船舶压载水管理系统”项目。

项目概况：系统配套于上海外高桥造船有限公司新造 10 艘 40 万吨矿砂船，每艘船选用了 2 套 NB-3000 型系统，采用过滤+膜分离+充氮去氧处理工艺处理全船约 15 万吨压载水，排放水质满足国际海事组织排放标准要求。系统处理水量可达到 $6000\text{m}^3/\text{h}$ ，运营所需的能源消耗为电力，每小时消耗电力 $30\text{kW}/\text{h}$ ，不消耗淡水资源，不产生二次污染物，采用独特处理工艺，且单次处理，单位能耗仅为 $0.031\text{kW}/\text{m}^3$ ，耗电量为其它产品的 $1/2 \sim 1/3$ ，全球最低。



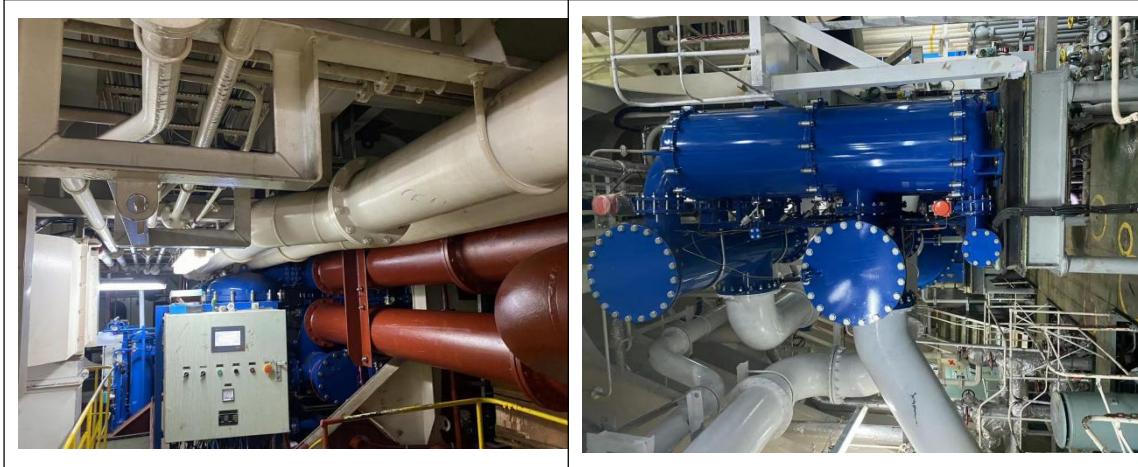


图 3：40 万吨矿砂船压载水系统现场安装（上海外高桥船厂）

六、推广前景

我国船舶行业已成为全球造船业的领军力量，造船三大指标稳居世界第一，行业正逐步向高端化、智能化、绿色化转型。水涨船高，船舶配套市场规模庞大，船舶环保设备国产化配套率高达 80%。船舶压载水管理系统作为船舶环保设备领域重要的产品，随着国际公约和海洋环保政策的不断严格，船舶压载水管理系统需求量剧增。据权威机构相关数据表明，目前全球船队大约有 10 万艘，全球市场容量达到 200 亿元，国内达到 20 亿元，高效智能船舶压载水管理系统未来产业化的市场前景广阔。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：江苏南极机械有限责任公司

联系人：汪立庆

联系方式：13805266361

案例六：清创人和生态工程技术有限公司高盐难降解有机废水有机物降解技术装备

一、技术适用范围

适用于煤化工、焦化、医药、印染等重点行业生产中的高盐难降解有机工艺废水，可以将有机物的降解效率提升至95%以上。从而真正实现工业废水完全循环利用，水资源全部回用于企业生产，达到废水零排放。

有机物的降解是化工废水处理的重要步骤，直接决定着水资源是否可以达标排放或回用。而在高盐环境下，有机物的降解正是整个废水处理工艺中难点最集中的环节。

高盐难降解有机废水高效有机物降解设备(QCHCO设备)首先适用于山西、陕西、内蒙、新疆、甘肃等地区。这些地区煤化工、焦化等产业集中，煤化工、焦化在生产过程中会产生大量高盐难降解有机废水。

高盐难降解有机废水高效有机物降解设备(QCHCO设备)也适用于广东、山东、辽宁等地区。这些地区石油化工，包括乙烯、芳烃等产业集中，石油化工在工业生产过程中会产生大量高盐难降解有机废水。

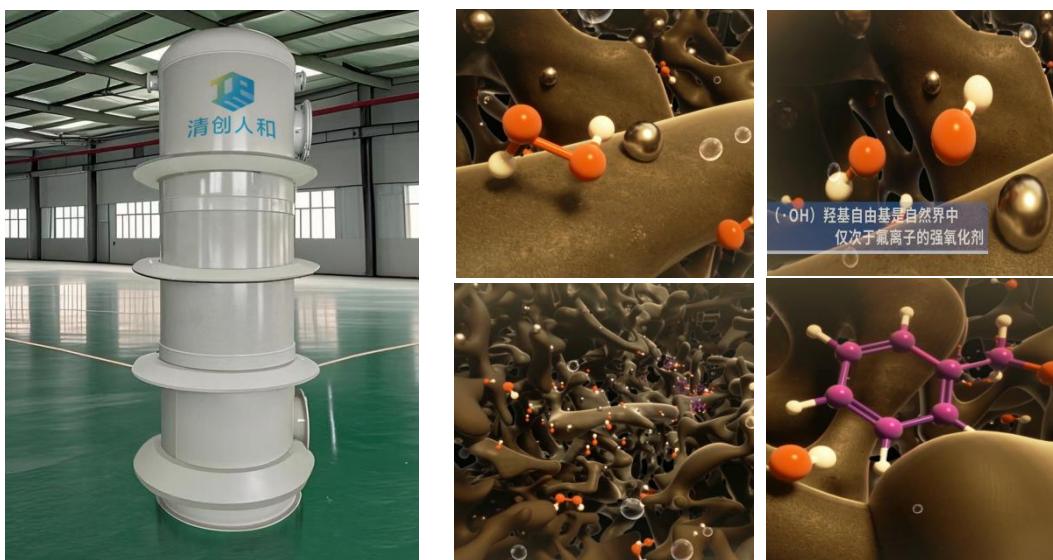
高盐难降解有机废水高效有机物降解设备(QCHCO设备)同样适用于浙江、江苏、福建等地区。这些地区染料、印染产业集中，印染行业在工业生产过程中会产生大量高盐难降解有机废水。

二、技术原理及工艺

高盐难降解有机废水高效有机物降解设备(QCHCO设备)内的纳米级催化氧化材料，通过采用特殊工艺形成空隙结构稳定、比表面积

大、反应效率高、持续寿命长的特性，可以有效增加反应局部有机物负载密度，在双氧水（H₂O₂）与催化剂接触反应瞬间释放大量羟基自由基（·OH），同时实现羟基自由基原位利用，促使有机物发生链式氧化反应。

公司自主研发与催化材料配套的催化氧化系列设备，可通过控制污染废水进入设备的方式及流速，以及通过布水装置匀速均质的加入药剂双氧水，可以使羟基自由基生成反应和有机物降解反应稳定、高效的发生。



双氧水（H₂O₂）与催化活性材料接触后，会生成2个羟基自由基（·OH）。相较于氧化技术，双氧水转化为羟基自由基不产生任何毒害副产物。

羟基自由基(·OH)是活性性、进攻性最强的活性氧分子，几乎可以与所有的生物分子、有机物和氨氮等无机物发生不同类型的化学反应，具有非常高的反应速率常数、电负性和极强的氧化电极电位(2.8 V)，是除氟气外最强的无机氧化剂，其氧化能力远远超过普通的化学氧化剂。利用·OH作为氧化剂的高级氧化技术通过亲电加成、脱氢、电子转移等方式可以与大多数有机污染物及晶体材料发生快速的链

式反应，将其氧化分解成 CO₂、H₂O、N₂ 和无机物，实现有机物分解、水体脱色、氨氮脱除等重要水体净化指标。

三、技术指标

常温常压的环境下，高盐废水（5g/L-150g/L）中有机物降解率（COD 降解率）>80%，且无副产污染物。

可通过催化材料选择及多级串联等方式，将有机物降解率（COD 降解率）提升至 95%以上，并适用于不同的生产环境及处理规模。

经处理的废水可达到《难降解有机废水深度处理技术规范》（GB/T 39308-2020），《废水综合排放标准》（GB8978-1996），《工业循环冷却水处理设计规范》（GB50050-2007），《炼焦化学工业污染物排放标准》（GB16171-2012），《煤炭工业污染物排放标准》（GB20426-2006）等。

高盐难降解有机废水高效有机物降解设备的主要指标及如下：

水样类型	处理前 COD (mg/L)	处理后 COD (mg/L)	COD 降解率 (%)
焦化	620.6	55.6	91.03
煤化工	4153.5	207.2	95.01
印染	666	36	94.59
药厂废液	3356	192.3	94.26
稀土废液	5565	148.5	97.33
石油化工（醇类）	6286	626.7	90.03

四、技术特点及先进性

高盐难降解有机废水高效有机物降解工艺技术设备中的关键核心技术是公司自主研发的“非均相催化氧化技术及系列纳米级催化氧化材料（已授权多项发明专利）”，可将煤化工、焦化、制药、印染等行业产生高盐废水中难降解有机物的降解效率由 40%以下提至

90%以上，弥补了废水处理中有机物难以有效降解处理的短板，以及工业废水处理领域催化氧化装备对难降解有机物的降解效率偏低的短板，在国内属于领先水平。

以高盐难降解有机废水高效有机物降解工艺技术设备为核心的资源化零排放工艺技术设备(已申请发明专利 20 多项)，有机物降解效率高，有机物的降解效率由 60%以下提至 90%以上，系统运行稳定，无二次污染，无杂盐产生，水全部回用，无机污染物全部转化为符合国家标准的化工产品 (盐、酸、碱) ，能彻底实现工业废水完全不外排造成环境污染，废水零排放，将废水综合处理费用降低 40%以上，属于该领域国内领先水平。

五、应用案例

襄垣 10,200 吨/年杂盐综合利用示范项目，利用高盐难降解有机废水高效有机物降解设备(QCHCO 设备)，高效、稳定的对高盐难降解有机废水中的有机物完成降解去除，实现了杂盐的变废为宝和真正意义上的资源化利用。项目被列为 2022 年度长治市重点工程,承担着长治市乃至省内多家大型煤化工、焦化企业的废盐资源化利用重任，有力推动了开发区的绿色循环经济转型发展。项目主要产品为高纯度硫酸钠和氯化钠(纯度>99%)，符合工业副产盐国家标准，市场前景广阔。每年减少 10200 吨经由煤化工、焦化、医药等行业产生的危险废物废盐排放至自然环境，或减少大量刚性填埋场土地占用。

项目经营预算可获得收入约 3000 万元，净利润约 500 万，为国家、地方利税约 180 万元。

项目经营可以为当地带来 30 余就业岗位。



六、推广前景

目前，公司高盐难降解有机废水高效有机物降解工艺技术设备主要以山西焦化、煤化工，折合约每年处理（减排）200万立方米生产废水或50万立方米的高盐（20g/L）废水。

未来3年，公司高盐难降解有机废水高效有机物降解工艺技术设备，仅在焦化行业的前景预测可以达到约12%的推广普及率，即每年对约1400万立方米焦化废水完成有机物降解处理，平均每年可回用水资源约1400万立方米，可实现的销售收入约7000万元，实现纳税1800余万元。在取得良好经济效益的同时，大幅减少危险废物、废水等污染排放，实现良好的社会效益。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：清创人和生态工程技术有限公司

联系人：郭旭超

联系方式：18634390577

案例七：鲁信天地人环境科技（安徽）集团有限公司大通道抗污染卷式膜设备

一、技术适范围

本技术装备主要是提供一种适用于污水回用处理、使用寿命长的抗污染型膜装备。随着国内水资源日益匮乏和水污染形势严峻，各行各业都在大力提倡污水处理回用，但是在污水回用处理领域内，由于污水中含有的有机污染物、无机结垢物质及悬浮颗粒杂质的浓度要远高于传统卷式膜技术耐受能力，大通道抗污染卷式膜设备应运而生。该技术装备在物制药、煤焦化、化工园区及电力行业等含盐污、废水回用处理领域均有应用。

二、技术原理及工艺

大通道抗污染卷式膜设备系统成套装置是由芯式过滤器、膜组模块单元、高压泵、在线循环泵、清洗水箱、MCC柜、PLC柜、膜支架及底座、阀门管道及仪器仪表等组成的集成设备；通常是在工厂完成组装及调试，出厂检验装箱后运至现场就位调试即可很快就能投入运行。

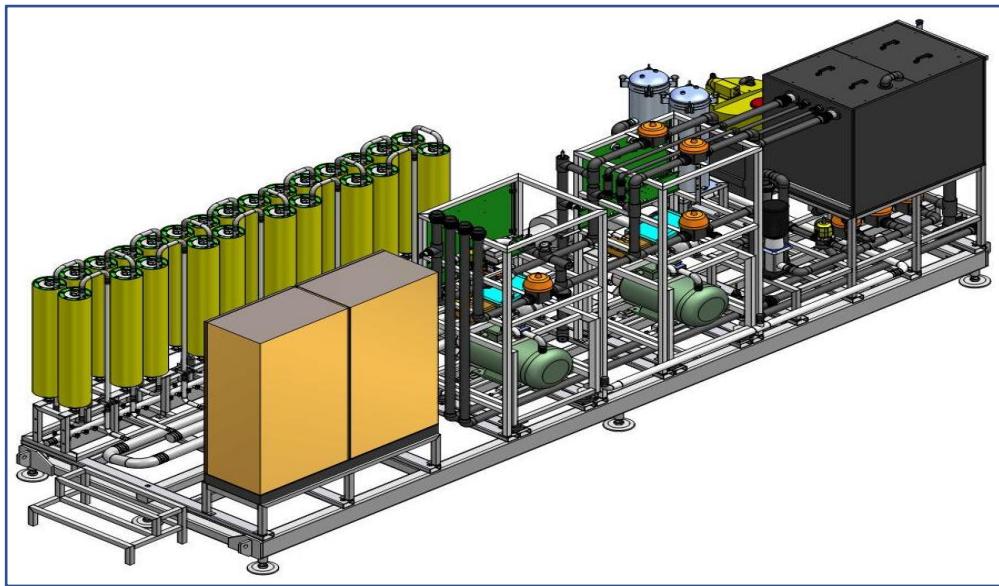


图1 系统集成机械结构图

料液在大通道抗污染卷式膜组件内部的流动形式如图2所示：原水经顶部密封板分散后沿四周均匀进入膜组件顶部。原水沿膜表面向下流动，与此同时，透过液透过膜卷，从净水中心收集套管进入中心拉杆，沿透过液出口流出。浓缩液沿底端密封盘流入底部高压连接管，进而流出膜组件。膜组件底部和顶部的密封法兰处各设有两个唇形密封，以防止原水渗漏。顶部和底部法兰处装有第二级O型密封圈，以防止设备未达操作压力时，原水发生渗漏。系统设计时，通常采用1-6支大通道抗污染卷式膜组件串联为一个膜组模块，如图3所示，图2所示的这支膜组件是从顶端进水的，如果从底端进水，则膜元件密封板应该安装于组件顶部。

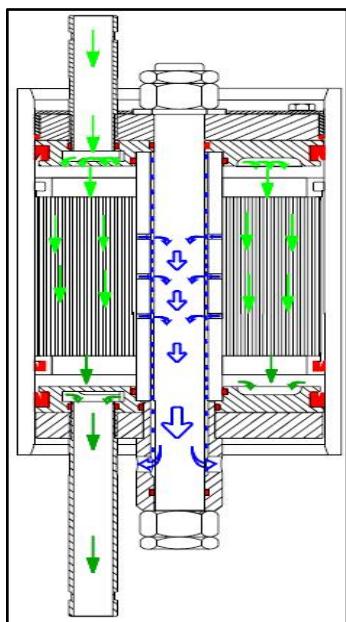


图 2 膜组件料液流动形式图

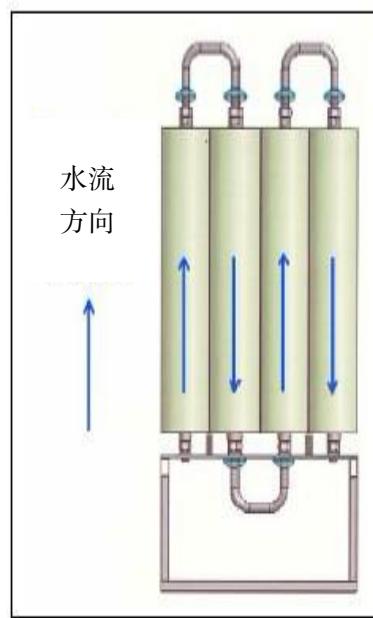


图 3 膜组件模块料液流动形式

三、技术指标

大通道抗污染卷式膜设备，应用于污水回用或零排放领域，可以省去传统卷式膜设备必需的高级氧化、超滤等预处理工艺，简化回用水或零排放处理系统工艺流程，提高系统运行稳定性。同等进水水质、不考虑硬度离子结垢的条件下，大通道抗污染卷式膜设备回收水率较传统卷式膜设备回收水率一般高 5%以上。

四、技术特点及先进性

本技术装备核心部件——大通道抗污染卷式膜组件是一种抗污染能力介于螺旋卷式膜和碟管式膜之间的膜组件，抗污染型膜组件与市面上常见的螺旋卷式膜结构形式相似，均为螺旋卷式封装，不同之处主要有三方面：

(1) 抗污染性强

大通道抗污染卷式膜组件对过水通道进行了优化设计，改进了格

网的结构形式，采用了新型格网，形成了开放式的流道结构，无阻碍，全湍流的进水系统，减少了死水区域，最大程度的避免了膜的污堵及结垢。

(2) 预处理要求低

大通道抗污染卷式膜组件为设备核心部件，其应用于中水回用领域，可以省去传统卷式膜设备必需的高级氧化、超滤等预处理工艺，节省预处理设备投资及运行成本。

(3) 浓缩减量倍数高

大通道抗污染卷式膜组件采用了耐高压的端盖法兰与中心拉杆将膜卷固定在玻璃钢容器中，耐压等级最高可以达到120bar，使得其可以对高盐水进行高倍浓缩减量化处理，减少后续设备处理负荷，降低投资及运行费用。

五、应用案例

项目名称：伊犁川宁生物技术有限公司 12000m³/d 中水回用及分盐资源化项目。

项目概况：

伊犁川宁生物技术有限公司污水处理系统原生化出水直接进入MVR 蒸发系统，由于废水中的 COD 偏高、悬浮物含量高、硬度高，使得 MVR 需要频繁清洗，导致 MVR 整套系统处理能力不到设计能力的 80%。同时系统产生的杂盐无法回收，给川宁公司增加了巨额的处理费用。本项目为制药废水处理零排放项目，系统无外排废水；产生的软化污泥运到有资质的处理单位处理；噪音主要来自泵的运转，

噪音较小，且本项目所有设备均位于车间内，对外无噪音影响；本项目不产生臭气，为了车间内环境舒适，仍预留了除臭管线至厂区除臭设施。



六、推广前景

随着我国经济的发展和人民生活水平的提高，各类环境标准日益提高，各行各业的生活活动都必须满足环境保护的要求，因此环境保护政策本身已经是国家优先支持的领域和范围。

本项目核心技术就是采用鲁信环境特种膜工艺对制药废水进行浓缩减量同时做到分盐资源化。鲁信环境公司的 DTL 膜及 DTRO 膜具有流道宽抗污染等特点，尤其适合高 TDS、高 COD 的废水浓缩减量及脱盐处理。DTNF 膜具有很好的分盐效果，可以对废水中的硫酸钠和氯化钠进行很好的分离，最大效益的实现了废水中盐的资源回收价值。

因此，该项目无论从环保要求和经济性要求考虑，都具有广阔的推广应用前景。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：鲁信天地人环境科技（安徽）集团有限公司

联系人：王刚

联系方式：13811686882

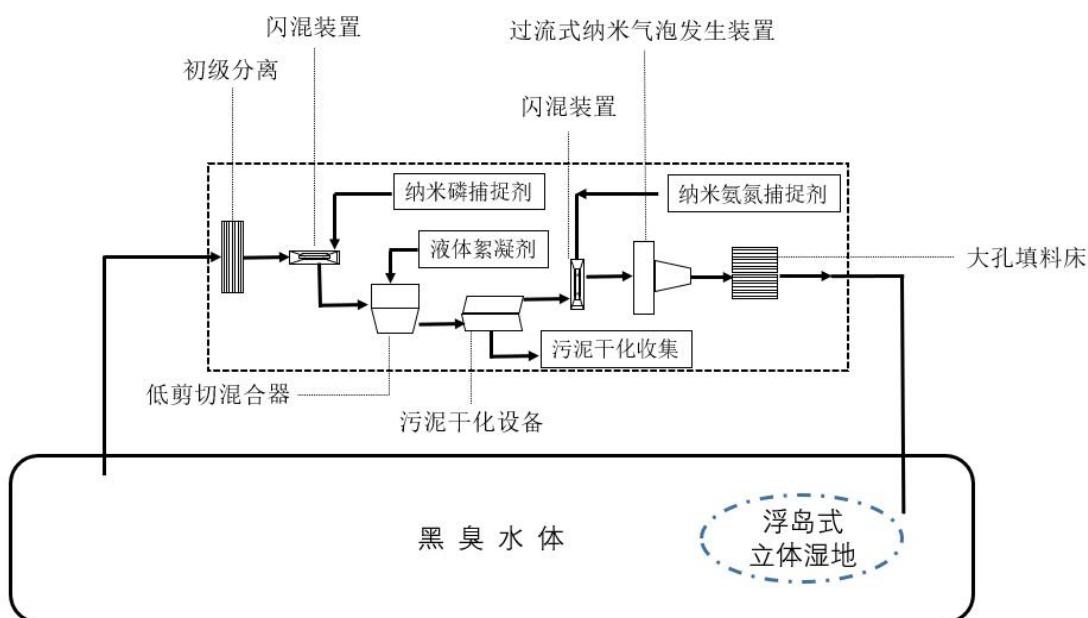
案例八：安徽恒宇环保设备制造股份有限公司纳膜旁路净化一体化设备

一、技术适用范围

可应用于黑臭水体治理；小型污水处理厂等，适用于生活污水处
理及工业污水治理、黑臭水体修复工程等项目。

二、技术原理及工艺

本设备主要利用液态天然絮凝剂对水体中的悬浮污染物、藻类进
行有效去除，再采用纳米级磷捕捉剂和纳米级氨氮捕捉剂的组合工艺，
对水体中的植物营养物质—氨氮和磷浓度进行有效控制；上述净化过
程中，通过臭氧微纳气泡膜强化上述污染物捕捉、分离过程；进一步
地，经过上述处理的河道水进入过流式强化型纳米气泡发生装置，向
水中投放数以万亿计的纳米级气泡，再经过大孔填料床层利用大孔填
料的吸附和生物作用，形成非曝气式生物滤池，对溶解性 COD 进行
有效去除。



工艺流程图

三、技术指标

进水水质指标： COD： $\leq 120\text{mg/L}$,BOD₅: $\leq 30\text{mg/L}$, 悬浮物： $\leq 50\text{mg/L}$,氨氮： $\leq 8\text{mg/L}$,TP: $\leq 3\text{mg/L}$,PH： 6~9。

出水水质指标: COD: $\leq 30\text{mg/L}$,BOD₅: $\leq 8\text{mg/L}$,悬浮物： $\leq 1.5\text{mg/L}$,氨氮： $\leq 0.3\text{mg/L}$,TP: $\leq 10\text{mg/L}$,PH: 6~9。

四、技术特点及先进性

开发了基于臭氧微细气泡域场的吸附-催化深度处理技术。通过臭氧微细气泡域场的吸附-催化深度处理方法，解决了臭氧利用率低的问题。利用压力溶气单元和旋转水热氧化单元组合工艺，实现了纳米臭氧气泡均质氧化与水热氧化的有机结合，同时一步去除污水中TDS 和 COD 污染物。采用疏水 MOF 聚合物与聚丙烯酰胺制成的有机磷吸附剂以及镧改性的羟基磷灰石制成的无机磷吸附剂，组成的除磷吸附剂，解决了新污染物结合力较低、易脱落的问题。

五、应用案例

项目名称：亳州市中心城区丁家坑等 11 条黑臭水体生态修复及后期维护 PPP 项目。所在地：安徽省亳州市。

（一）项目实施概况

本项目共治理河道 11 条（丁家坑、汤陵沟、鳌疙瘩坑、东城海子、陵西湖、柴家沟、东风沟、羊建沟、龙凤新河、凤尾沟、宋汤河），总长约 48.355km，施工内容包括生态清淤及护坡工程、水生态系统修复工程、微生物活化工程、旁路水质净化工程、补水活水工程、智

慧水务建设工程、配套电气工程。项目主要实施内容：柴家沟、丁家坑、东城海子、宋汤河、鳌疮瘩坑、凤尾沟、龙凤新河、陵西湖、汤陵沟、羊建沟、东风沟共 11 条黑臭水体进行生态修复及后期管护，主要建设内容有水生态系统恢复、河道清淤、控源截污、臭氧微细气泡净化、微生物活化、智慧水务及后期维护管养等。

项目实施成效

通过本工程的实施，恢复河道的水生态系统。通过系列生态修复技术，重建动植物生长、栖息、繁殖场所，恢复水体生物多样性，改善湖泊生境，强化水体自我修复能力，构建健康生态水系，提升河道水环境，实现人水和谐共生，为社会经济的可持续协调发展提供有力的基础。项目建设前，河道 BOD5 最高达到 19.8mg/L ，COD 最高达 79.8mg/L ，总氮、总磷、氨氮等都严重超标，PH 值高达 10.24，治理后，封闭水体丁家坑、柴家沟、鳌疮瘩坑达到四类水标准，东城海子、宋汤河、凤尾沟、龙凤新河、陵西湖、汤陵沟、羊建沟、东风沟达到五类水标准，通过科学管理、调度与运营，确保水体黑臭不再复发。



丁家坑治理前

丁家坑治理后

六、推广前景

简要描述推广前景，不超过 300 字，尽量包含未来 3 年内可实现的年产值、年销售量、主要污染物年减排量等信息。

当前，全球水环境治理正面临日益严峻的挑战。传统化学沉淀法作为污水处理的常用手段，其高能耗、易产生二次污染等固有弊端日益凸显，已难以满足日趋严格的环保标准和可持续发展的战略需求。该技术突破臭氧氧化效率与自由基浓度限制，构建“高效吸附-催化”协同处理体系，使废水 COD 去除率突破 90% 技术红线。显著降低流域持久性有毒物质累积风险。预计未来五年，该技术装备在安徽省推广率达 15% 左右，总投入约 278500 万元，年处理黑臭水体面积 10^{10} 平方米。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：安徽恒宇环保设备制造股份有限公司

联系人：薄连震

联系方式：15801951786 0558-2935082

案例九：苏州科环环保科技有限公司高盐难降解工业废水深度处理技术装备

一、技术适用范围

石油化工、煤化工、精细化工以及化工园区废水处理。

二、技术原理及工艺

高含盐难降解工业废水深度处理技术装备采用臭氧与生化耦合技术，该技术结合了臭氧氧化的高效断链能力和生物处理的低成本优势，采用臭氧预处理强化生物降解性并降低难降解有机物的生物毒性，并利用臭氧分解产生的氧气提高后续废水的溶解氧，进而降低生化段曝气量，实现低碳节能功效。在臭氧氧化阶段，结合高含盐工业废水的水质特点，开发耐高盐的复合金属催化剂，通过改进催化剂载体材料和表面包覆疏水层材料，以及开发多活性点位的新型催化剂，提升·OH的产生效率；高效生化工艺采用气提式内循环设计，形成“上升流-下降流”的大比倍循环，提升反应器的容积负荷，并结合不同生物功能填料，实现微生物多功能作用，达到降碳脱氮除磷的目标。通过反应器流态的创新和功能催化材料的开发，实现高含盐难降解有机工业废水深度处理的达标排放。

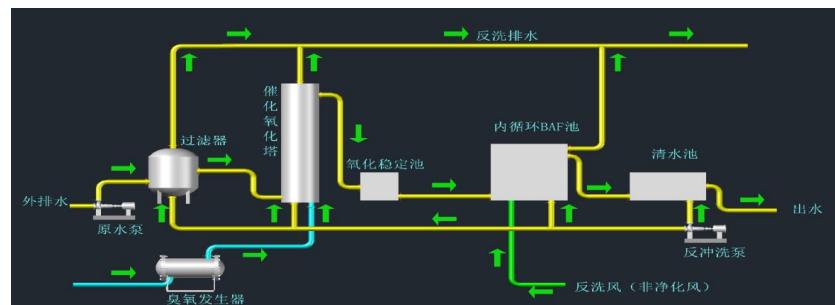


图 1 臭氧催化氧化耦合 IRBAF 工艺技术原理图

三、技术指标

根据不同高含盐难降解废水的特性及处理要求，设计不同工艺参数的深度处理工艺路线，保证实现达标排放的要求。

进水水质： COD≤300mg/L， NH₃-N≤100mg/L， TN≤150mg/L， TDS≤2×10⁴ mg/L；

出水水质： COD≤50mg/L， BOD₅≤10mg/L， NH₃-N≤5mg/L， TN≤15mg/L， SS≤10mg/L， TP≤0.5mg/L。

四、技术特点及先进性

①新型耐高盐的复合金属催化剂，一方面通过改进催化剂载体材料，采用介孔分子筛的大比表面积和有序孔道促进污染物扩散，避免高盐堵塞活性位点；同时，在催化剂表面包覆疏水层材料，减少高盐氯离子对活性位点的影响；另一方面，开发多活性位点负载的复合金属臭氧催化剂，通过催化剂负载复合金属离子间的协同效应，加速臭氧分解为·OH 的效率；

②装备生化段采用内循环流态设计：通过气提式内循环系统，驱动污水在反应器内部形成“上升流-下降流”循环，增强传质效率，减少反应器内部短流和死区；同时根据不同采用填料功能，构建不同的反应区域，在单一反应器内部实现同步硝化反硝化和短程硝化-厌氧氨氧化的作用，实现降碳脱氮除磷的效果；

③臭氧与生化耦合技术：结合了臭氧氧化的高效断链能力和生物处理的低成本优势，采用臭氧预处理强化生物降解性并降低难降解有机物的生物毒性，并利用臭氧分解产生的氧气提高后续废水的溶解氧，进而降低生化段曝气量，实现低碳节能功效；

④模块化集装箱式设计：采用模块化集装箱设计，进行不同功能

模块分区并保证高效工艺集成，根据处理需要可灵活调整设计结构并实现全流程自动化远程控制，实现空间利用率 $>85\%$ ，满足不同处理规模的设计需求。

五、应用案例

项目名称：中国石油庆阳石化公司污水回用装置扩能改造项目EPC总承包项目。

项目概况：

中国石油庆阳石化公司位于甘肃省庆阳市，原有污水回用装置规模为 $100m^3/h$ ，扩能改造项目旨在应对日益增长的生产用水需求以及愈发严格的环保标准。

项目规模方面，在原有基础上进行扩能，提升了污水处理量，具体处理规模达到 $500m^3/h$ 。自2022年投入运行以来，一直保持稳定高效的运行状态。

项目应用环境、社会及经济效益

通过深度处理工艺，污水中的主要污染物得到有效去除，出水水质大幅提升，化学需氧量(COD)、氨氮等关键指标远优于相关排放标准；污水回用率显著提高，经过处理后的中水回用于生产环节，大大减少了新鲜水资源的取用，缓解了当地水资源紧张的局面，提高了水资源的利用效率；降低了用水成本，先进的处理工艺使药剂和能源消耗大幅下降，自动化控制系统减少人工运维成本；有效改善当地水环境质量，保障居民饮用水安全，为周边生态系统提供稳定的水资源保障，减少因水污染引发的健康风险。



项目现场图

六、推广前景

结合行业发展现状，预计该技术装备在三年内市场普及率可达到 30%（约 150 套），结合单台套技术装备投入约 500 万元计算，则总投入约 7.5 亿元。按照设计参数估算，可实现减排总量达 13.14 万吨，氨氮约 4.99 万吨，总氮约 7.09 万吨。按化工园区收费标准 6 元/ m^3 计算，则可节省污水处理费共计约 78840 万元。未来 3 年该套技术装备可提供最高约 750 人就业岗位，创造明显的经济和社会效益。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：苏州科环环保科技有限公司

联系人：丁思晗

联系方式：18625275801

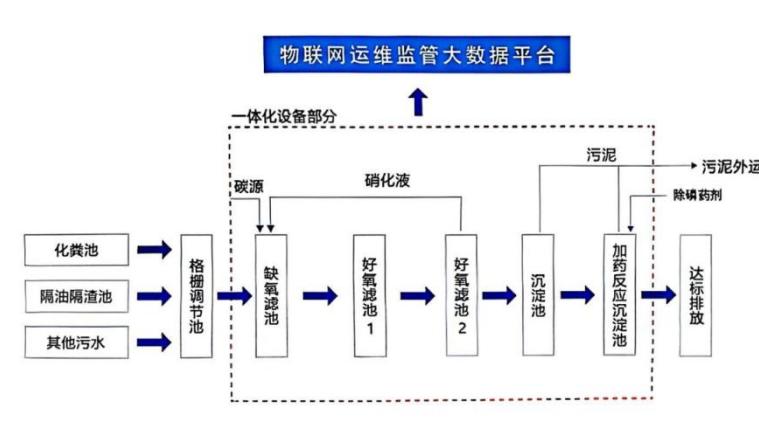
案例十：江苏启德水务有限公司基于移动物联网的一体化污水处理装备

一、技术适用范围

基于移动物联网的新型一体化污水处理设备适用范围为村镇、度假区等领域生活污水处理，单台处理规模最大为 $100\text{ m}^3/\text{d}$ ，最大覆土 2m ，排放标准为《城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002)》，也可以实现定制，不仅在农村地区应用成熟，也在高速服务区、度假村、农家乐、港口码头、部队驻地等分散污水处理领域进行推广及应用。

二、技术原理及工艺

基于移动物联网的新型一体化污水处理设备，以 AOF 工艺作为核心处理技术。针对生活污水中常见的化学需氧量 (COD)、悬浮物 (SS)、氨氮 ($\text{NH}_3 - \text{N}$)、总氮 (TN)、总磷 (TP) 等主要污染物，处理后的水质可稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准 (GB18918 - 2002)》的要求，能有效改善受纳水体的水质，有力推动水环境质量的提升。该设备还加载了智慧物联网，充分运用物联网、大数据、云存储、云计算、移动互联等新一代信息技术，强化污水处理与信息化技术的深度融合，实现污水处理全流程的自动化。



三、技术指标

(1) 单台处理能力 $\leq 100\text{m}^3/\text{d}$ ；进水水质：COD $\leq 400\text{mg/L}$ ；NH₃-N $\leq 40\text{mg/L}$ ；TN $\leq 60\text{mg/L}$ ；TP $\leq 5\text{mg/L}$ ；出水水质：COD $\leq 60\text{mg/L}$ ；NH₃-N $\leq 8\text{mg/L}$ ；TN $\leq 20\text{mg/L}$ ；TP $\leq 1\text{mg/L}$ ；出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准（GB18918-2002）》标准要求。

(2) 好氧池容积负荷：0.30~2.4kg/（m³·d），缺氧池容积负荷：0.30~0.45kg/（m³·d）；

(3) 平台提供多种数据访问方式，设施最小接入量大于100万台；设计数据处理能力 ≥ 100 万条/分钟；Redis 请求响应（数据写入与读取）<200毫秒，故障响应时间缩短至2小时内，运维成本降低30%。

四、技术特点及先进性

基于移动物联网的新型一体化污水处理设备，为智能化监测污水处理场景提供高效、智能、节能、低碳的解决方案，相比同类产品，能耗更低、容积负荷更大、出水水质更优、占地面积更小，设备故障率更低、运维效率更佳。它拥有以下几个特点：

(1) 低耗节能。一气多用，一台气泵通过精准阀门实现曝气、回流、排泥、搅拌等功能，运行能耗低，采用电导率作为传感器采集水质，可根据实际进水负荷调整曝气量、回流量等，进一步降低能耗，总能耗降低30%。

(2) 稳定达标。采用AOF污水处理工艺，利用高效悬浮填料球，富集高效菌群，抗冲击能力强，原水碳源利用效率高，脱氮除磷效果好，处理效果稳定。

(3) 标准化定制。设备集成度高，吨水占地面积可节省25%，预制化生产，三维建模分析进行结构优化和流态设计。

(4) 运维简便。创新性引入移动物联网技术，通过 4G/5G 网络传输至云平台，可通过手机 APP、电脑端随时掌握设备运行状态，接收故障预警，实现远程控制，提高运维效率 20%。

(5) 大数据分析。借助大数据分析与人工智能算法，云平台还能预测设备潜在故障，实现预防性维护，降低运维成本 30%。

五、应用案例

应用项目名称：无锡市锡山区农村生活污水治理工程(锡山模式)

应用项目概况：“无锡市锡山区农村生活污水治理工程”覆盖锡山区全域（属于太湖流域），工程得到了国家绿色发展基金、江苏省国资委、省财政厅和省生态环境厅的高度评价和大力支持。2022 年该项目被省生态环境厅认定为江苏省 2022 年度“十佳生态环境治理改革创新案例”；2024 年锡山区入选“省级农村生活污水社会化治理示范区”。

项目运行效果：截至 2024 年，锡山区国省考断面水质优 III 比率连续多年保持在 100%，农村支浜黑臭现象基本消除。完成了 776 个自然村的生活污水收集、治理，惠及 3.3 万户，污水收集率提升至 85% 以上，处理设施稳定运行率达 98%。智慧水务平台实时监控全区设施，故障响应时间缩短至 2 小时内，运维成本降低 30%。



鹅湖镇新泾巷农污设施

项目效益分析：项目建成后村民生活环境显著提升，蚊虫滋生、异味扰民问题基本解决，居民满意度达 100%，成为全国农村污水治理示范案例。此外，项目带动本地建材、设备制造等关联产业产值增长约 1.8 亿元。2023 年，“锡山模式”作为样板工程接待生态环境部及十余个省市的环保单位参观学习，让太湖流域的先进经验推广到全国各地。

六、推广前景

基于移动物联网的新型一体化污水处理设备凭借其移动物联网技术带来的智能化管理优势、高度一体化设计的便捷性以及卓越的污水处理性能，完美契合生活污水处理场景需求。无论是在新建生活污水处理项目，还是对现有老旧生活污水处理设施的升级改造中，都具有巨大的市场应用潜力。通过设备化制造，在未来三年形成累计基于移动物联网的新型一体化污水处理设备年销售不低于 100 套。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：江苏启德水务有限公司

联系人：段腾腾

联系方式：13382885171

案例十一：中国石油集团安全环保技术研究院有限公司油气开发废液一体化橇装处理装备

一、技术适用范围

油气开发废液处理及资源化利用，尤其是非常规油气（以页岩油气、致密油气、煤层气为主）开发过程中产生的压裂返排液、废弃钻井泥浆、采出水等废液的达标处理及资源化利用。

二、技术原理及工艺

创新提出废液快速破胶混凝气浮一体化、净化水回用、装备标准化模块化等关键技术，研究形成“破胶混凝→气浮分离→多级过滤”主体工艺，采用“多介质-多流程-多模块”的工艺组合方式以及三维设计，研制了标准化、模块化的橇装装置。装置基础橇块单元包括破胶混凝、气浮除渣、多级过滤、污泥浓缩、固液分离、加药系统和控制系统等，各个橇块功能相对独立，可根据不同的介质调整、组合为不同的工艺流程，具有高度的适用性和灵活性，橇块可重复利用。

三、技术指标

- 1、装置处理规模为 10-50 方/小时，可 24 小时连续运行；
- 2、气浮装置搭配使用自研药剂可实现快速破胶和絮凝，废液破胶时间从 30min 降低至 1min 以下，处理后出水可达“悬浮固体含量 $\leq 5\text{mg/L}$ 、含油量 $\leq 1\text{mg/L}$ ”水质指标要求。
- 3、装置采用橇装模块化设计，设备集成度高，功能相对独立，便于灵活组合和重复利用，30 方/小时占地面积仅为 $15\text{m} \times 17\text{m}$ 、总面积 255m^2 ，50 方/小时占地面积仅为 $21\text{m} \times 17.5\text{m}$ 、总面积 367.5m^2 ，安

装周期最短 15 天；

四、技术特点及先进性

1、废液快速破胶混凝气浮一体化技术突破：废液破胶混凝处理系统结合自主研发的高效破胶药剂，使废液破胶时间从 30min 降低至 1min 以下，粘度由 5~50mPa 降低至 1mPa 以下，突破了复杂废液难以快速破胶脱稳分离的行业难题，确保预处理废液的“石油类、pH 值、粘度”等指标可进入后续处理工艺；微气泡气浮高效除杂技术使乳化油由 2220mg/L 降低至 0.32mg/L，去除率达到 97%以上；悬浮固体含量由 4600mg/L 降低至 7mg/L，去除率达到 99.5%以上。

2、废液处理后回用技术突破：针对处理后废液回配压裂返排液的循环利用率低等问题，研究揭示了高价阳离子对配液回用的影响机制和规律，提出了利用返排液配制压裂液的优先控制指标，并以此设计研发了高价离子去除工艺及设备，采用精细过滤、树脂吸附等设备去除高价阳离子，提高废液循环利用率，工程示范区回用率由技术装备应用前 30%提升至 90%。

3、标准化、模块化装备技术突破：采用橇装模块化设计，设备集成度高，在有限空间内优化流体动力学布局，避免因设备密集导致的压降增大或混合不均；各模块间接口标准化、信号传输稳定性及工艺流程切换时的动态响应问题。30 方/小时装置占地面积仅为 15m×17m，总面积 255m²，50 方/小时占地面积仅为 21m×17.5m、总面积 367.5m²；采用快速接头，安装周期最短 15 天。

五、应用案例

废液集中处理橇装示范工程

废液集中处理橇装示范工程是长庆油田分公司建成的第一个压裂返排液和废弃钻井泥浆一站式集中处理示范项目，位于甘肃省庆阳市。采用“破胶混凝→气浮分离→多级过滤”为主体工艺，结合专利药剂，连续式处理油气开发废液，主要设备包括破胶混凝装置、气浮除渣装置、多级过滤装置、污泥浓缩装置、固液分离装置、加药装置、控制橇，以及配套废液储罐、净化水罐。废液集中处理橇装示范工程压裂返排液和废弃钻井泥浆处理能力分别为 50 方/小时；处理后净化水满足《碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法》(SY/T 5329-2022)要求，通过输水管线输送至场站，替代清水回用。工程于 2018 年动工建设，2019 年 9 月环评批复正式投运，主要服务于长庆油田滚动开发中的新建油水井、工程半径 50 公里内的已建油水井。

示范工程运行至今，累计处理钻试废液 39.32 万方、废弃钻井泥浆 26.47 万方。工程实施后建减少了废液外委处理费，处理后废液替代清水回用 51.54 万方。本工程解决了周边井场作业废液远距离运输和达标处理难问题，大幅降低作业废液运输和处理成本，经济和环境效益显著。

长庆油田固城钻试废液 50 方/小时集中处理示范工程累计处理钻试废液 39.32 万方、废弃钻井泥浆 26.47 万方，减少外委处理费用约为 80 元/吨，共计节约处理费 5263 万元；处理后废液替代清水回注地层 51.54 万方，清水费 50 元/吨，共计节约水费 2577 万元；产生经济效益共计 7840 万元。

六、推广前景

预计未来三年，该技术装备分别销售 10、15、40 套，共计 65 套；

单套装备售价 600 万元，年收入技术服务费约 500 万元，共计 1100 万元/年，则直接经济效益分别为 1.1 亿元，1.65 亿元，4.4 亿元，共计 7.15 亿元。总污染物减排总量为石油类 4865 吨/年，悬浮物 9701 吨/年；节省处理成本 7.8 亿元/年，节约清水费用 4.38 亿元/年；合计间接经济效益 12.18 亿元/年。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：中国石油集团安全环保技术研究院有限公司

联系人：李颖

联系方式：010-80169961、18810459959

(三) 固体废物处理

案例一：兰州新融环境能源工程技术有限公司半地下式干湿双进料厌氧发酵技术装备

一、技术适用范围

适用于养殖业、食品加工行业、农业及环保行业等多个领域有机废弃物处理，核心应用场景包含污水污泥处置；区域清洁能源供给；园林绿化、农业种植、高标准农田提质增产、盐碱地与撂荒地治理等沼肥施用。可有效实现污染物治理、资源循环利用与环境修复。

二、技术原理及工艺

采用“CSTR 厌氧消化+沼气提纯”的综合处理工艺，将前端各类有机废弃物经全封闭式干湿双进料系统混合成浆料，导入半地下式不锈钢厌氧发酵罐发酵 15-30 天，结合自控温智能控制系统、“热电联产”、“余热回收”工艺生产清洁能源沼气与固液混合物。发酵产生的沼气进入顶部气柜暂存，经脱水、脱硫净化后部分引入锅炉制取热水用于系统加热，大部分进一步精制后外供天然气或发电上网；固液混合物（沼液与沼渣）一般作为肥料直接全量利用，若需通过水肥一体化施用，则送入分离系统，通过高精度沼液过滤系统以及滴灌水肥一体化设备，复配后生产有机沼液肥。可用于园林绿化、农业种植、高标准农田提质增产、盐碱地与撂荒地治理等领域，实现区域生态循环。

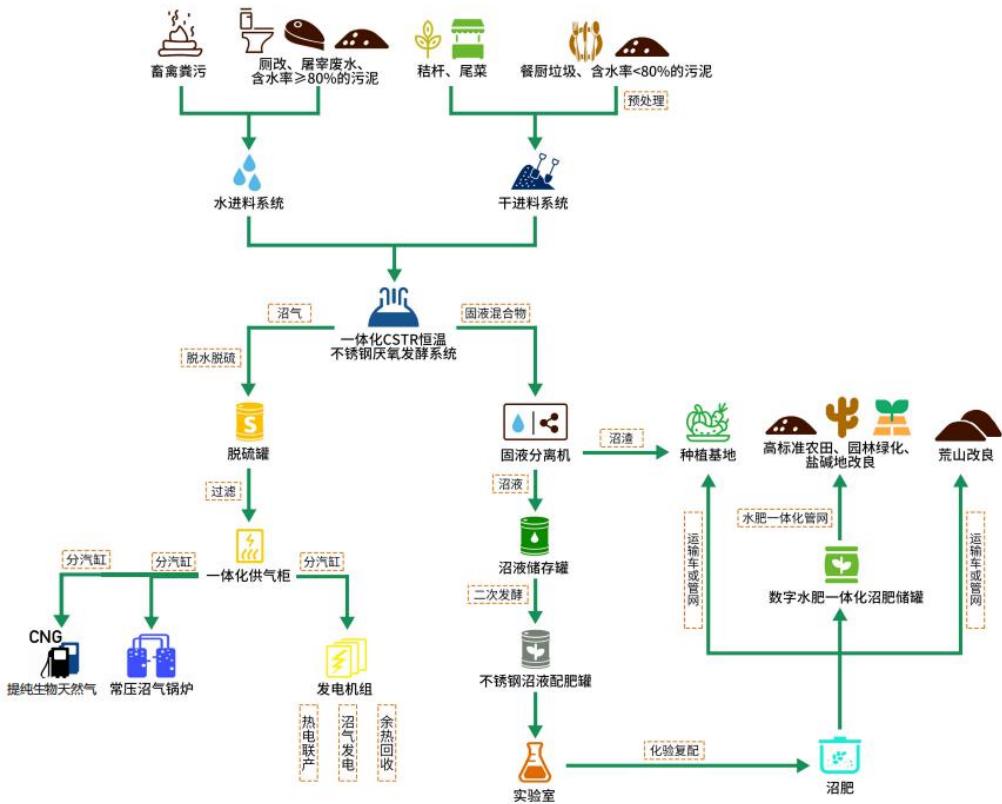


图 1 技术工艺路线图

三、技术指标

原料发酵技术指标：进料的有机质含量 $\geq 20\%$ ；混合物料含固率： $3\% \sim 30\%$ ；混合物料含杂率： $< 10\%$ ；容积负荷： $4\text{kgVS}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}) \sim 5\text{kgVS}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ；容积产气率： $0.6\text{-}1.5\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ；容杂率： 10% ；厌氧发酵罐停留时间： $15\text{d} \sim 30\text{d}$ ；运行温度： $20\text{~}45^\circ\text{C}$ 。

环保合规技术指标：①有组织排放废气：颗粒物 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ ； $\text{SO}_2\text{mg}/\text{m}^3 \leq 50\text{mg}/\text{m}^3$ ； $\text{NOx} \leq 200\text{mg}/\text{m}^3$ ，符合《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）燃气锅炉大气污染物排放限值；②无组织排放废气：氨 $< 1.5\text{mg}/\text{m}^3$ ；硫化氢 $< 0.06\text{mg}/\text{m}^3$ ；臭气浓度 < 20 （无量纲），符合《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）中表1恶臭污染物厂界标准值；③项目运营期无工业废水产生；④声环境：昼间

$\leq 60\text{dB(A)}$, 夜间 $\leq 50\text{dB(A)}$ 符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 2类标准。

四、技术特点及先进性

(一) 技术特点：

该技术覆盖养殖业、农业、食品加工业、环保行业等多个领域，可处理畜禽粪污、秸秆尾菜、食品工业废渣、餐厨垃圾、屠宰废水、市政污泥等全领域有机废弃物。干湿双进料协同处理技术，突破传统水进料厌氧发酵工艺无法处理固型有机废弃物的进料瓶颈，实现3%-30%含固率物料处理，容积产气率达 $0.6\text{-}1.5\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 。半地下式罐体，利用土壤保温特性，减少冬季热损耗80%，结合智能温控系统，在北方冬季地区维持发酵温度 $\geq 30^\circ\text{C}$ ，解决北方地区冬季补热高能耗问题。整个处理系统配备双级密封装置，实现废弃物到场实时全封闭处理，有效减少了废弃物露天堆放和焚烧带来的环境污染，有效控制了异味、污水和温室气体排放。产出的沼气可直接供气、发电并网，或提纯BNG进行高值化利用，沼液沼渣经无害化处理后作为液态肥还田，提升土壤地力，构建“废弃物处理-清洁能源-沼肥还田”闭环体系。

(二) 技术先进性：

该技术依托多项自主研发的发明与实用新型专利经中国农业大学有机废弃物循环利用高水平创新团队认定，已达国际先进水平，填补了北方冬季低温地区全领域有机废弃物协同处理装备的空白。且该技术率先打通“城乡多元有机废弃物集中资源化高值化利用”全链条，

破解原料单一、成本高、利用率低等瓶颈，契合国家“双碳”发展目标，成为甘肃省唯一覆盖全领域有机废弃物资源化利用的标杆工艺。

五、应用案例

项目名称 1：甘肃武威·凉州区区域城乡有机废弃物集中处理中心
项目概况：凉州区区域城乡有机废弃物集中处理中心由 5 个处理站点构成。投资总额 1.15 亿元，建设总容积 22000m³规模厌氧罐群。年可处理各类有机废弃物 34.5 万 t 以上，年可生成沼气 1205 万 m³，可全量发电并网 2410 万 KWh，或全量提纯 BNG803 万 m³；年可生产沼肥 30 万 t 以上，可满足超 10 万亩高标准农田、园林绿化、盐碱地改良等用肥需求，实现区域内城乡有机废弃物的全面综合整治，推动生态环境的持续改善和资源的循环利用。2024 年总营业额已突破 1500 万元。



图 2 凉州区区域城乡有机废弃物集中处理中心子站点应用案例

项目应用前：2020 年，凉州区全区畜禽养殖废弃物综合利用率

达到 85% 左右，据武威市生态环境局《2020 年度排放源统计年报》，畜禽粪污直排导致部分农田周边水体 COD 浓度超地表水 III 类标准 2-3 倍、总氮/总磷超标 1.5-2 倍，且参考武威市生态环境局执法检查及在线监测数据，城镇污水与有机废弃物混排曾导致污水处理厂总排口氨氮、总氮连续 12 天超《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 B 标准畜禽粪污、餐厨垃圾露天堆存区域厂界氨浓度最高达 $0.8\text{mg}/\text{m}^3$ 、硫化氢达 $0.08\text{mg}/\text{m}^3$ ；另据 CEIC 数据库，项目建设前武威工业二氧化硫年排放量较高，有机废弃物处理相关非工业源二氧化硫占比约 15%；温室气体排放方面，有机废弃物填埋甲烷排放与秸秆露天焚烧年排放 CO_2 当量超 15 万 t。

项目应用后：目前处理中心可实现代替县域及农村散煤 4.86 万 t 以上，减排二氧化碳 8.90 万 t 以上、二氧化硫 389.85t 以上、氮氧化物 145.94t 以上。年可减排秸秆直接焚烧释放的 PM2.5 约 193.2t 以上；年均处理畜禽粪污量 18 万 t 以上，相当于约 27.6 万头成年育肥猪一年排放的粪污量、减少 COD 排放量 4.14 万 t 以上、总氮排放量 3312t 以上、总磷排放量 579.60t 以上。年可节水 22.4 万 t 以上，可替代尿素 1000t 以上、磷酸二铵 1239t 以上、硫酸钾 1139t 以上、减少化肥投入约 1472 万元。结合国家关于“碳中和”及“碳达峰”相关举措，站点年可形成 CCER4 万 t。

六、推广前景

在“双碳”目标的指引下，国家政策已由单一的污染治理模式转变为“减污降碳协同增效”的系统治理新阶段。此外，在我国生态文明建

设迈向绿色低碳转型的关键时期，该技术装备完全契合《促进环保装备制造业高质量发展的若干意见》中提出的装备“高端化、智能化、绿色化”的发展要求，具备广阔的推广应用前景。预计未来3年内该技术装备预计产量25台（套）以上，累计年产值突破10亿元，可累计减排CO₂超100万t、替代散煤60万t，有效实现了降碳、减污、扩绿协同增效。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：兰州新融环境能源工程技术有限公司

联系人：张建

联系方式：19993105748

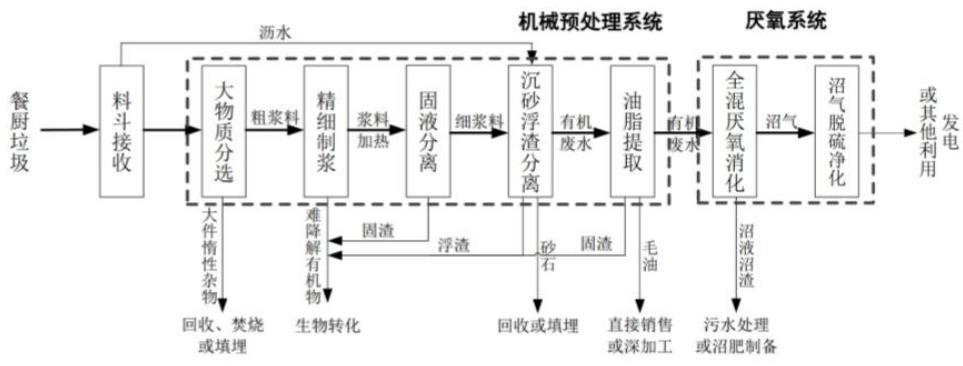
案例二：维尔利环保科技股份有限公司餐厨垃圾厌氧发酵资源化处理成套技术装备

一、技术适用范围

适用于餐厨及厨余垃圾等城乡有机废弃物资源化处理

二、技术原理及工艺

餐厨垃圾低碳高值资源化处理成套技术装备包括餐厨垃圾预处理(大物质分选、精分制浆、除砂除渣、油脂提取、固液分离等单元)、厌氧发酵、昆虫蛋白生物转化及沼液 CJMBR 达标处理技术及装备。通过大物质分选机特定转速下剥离输送刀和精细分选制浆机的组合，大幅降低了餐厨垃圾中有机质和油脂的损失率，同时重质惰性杂物粉碎程度低，更利于沉砂，沉砂浮渣工艺中极大提高了沉砂去除率和出砂洁净程度，螺旋除渣设备不同筛网孔径的组合极大提高了浮渣去除率，更有利干后续资源化利用单元的进行。经预处理后收集的餐厨高浓度有机浆液进入厌氧消化系统进行高效厌氧产沼，沼气进行能源化利用。经预处理后得到的有机固渣进行昆虫的自动化养殖与加工，转化为高附加值的昆虫蛋白与有机肥产品。厌氧沼液经过“预处理+CJMBR 生化单元+外置式管式超滤(UF)+NF/RO(深度处理单元)”处理后达标排放。同时，借助全生命周期大数据赋能平台，实现餐厨垃圾“收运处”全过程处理装备的智慧管控。



工艺流程图

三、技术指标

预处理实现惰性杂物去除率 $>90\%$ ，有机质损失率 $\leq 5\%$ ；厌氧发酵实现吨餐厨垃圾厌氧产沼率 $\geq 80 \text{Nm}^3/\text{t}$ ；厌氧沼液生物脱氮率 $\geq 99\%$ 。臭气经收集和处理后，通过排气筒排放，达到《恶臭污染物排放标准》（GB14554-1993）；厌氧沼液经处理后参照《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB 16889-2024）表2中垃圾填埋场渗滤液的水污染物排放限值，具体为 COD $\leq 100 \text{mg/L}$ 、NH₄⁺-N $\leq 25 \text{ mg/L}$ 、TN $\leq 40 \text{ mg/L}$ 。

四、技术特点及先进性

(1) 针对我国餐厨垃圾成分复杂，源头分拣困难等特点，所研发的“大物质分选-精细制浆”两级分选和“中高温高效厌氧产沼(CSTR)”技术及装备，从整体上增强了工艺对物料的适应性，大幅降低了餐厨垃圾机械预处理过程中有机质损失率，并显著提升了产沼效率。

(2) 实现了有机固渣的生物转化和高值化利用，将餐厨垃圾中的绝大部分转化成以沼气、油脂、菌体蛋白、回用水等为代表的再生资源，提升了整体资源化水平。

(3) 利用物联网技术，建立了覆盖全国的信息化中心和大数据平台，大幅提高了餐厨垃圾成套技术和装备智能化程度，不但能为客户提供预警和运营指导服务，而且降低了日常运营和建设成本，保证了项目运行的稳定性和可靠性，并借助丰富的数据，持续支撑技术和装备的改进、优化和提升。

五、应用案例

项目名称：常州市餐厨废弃物收集、运输及综合处置项目

项目所在地：江苏省常州市

项目概况：常州市餐厨废弃物收集、运输及综合处置项目(含一期及一期工程扩建)总投资为3.05亿元，处理规模为餐厨废弃物400t/d + 废弃食用油脂40t/d。该项目包含八个子系统：称重计量接收系统、机械预处理系统、油脂回收提纯系统、厌氧消化系统、沼气利用系统、固渣高值化利用系统、沼液深度处理系统、臭气处理系统，通过适宜的有机质提取技术及装备，将餐厨垃圾中可生物降解有机质从固相转入液相，并通过三相分离技术回收其中的油脂，形成的高浓度有机浆液进行厌氧消化产沼气，粗油脂经提纯后产生的毛油可作为工业原料外售，沼气经净化后通过热电联产、锅炉焚烧等方式转化为热能和电能，预处理固相残渣和厌氧沼渣用于昆虫生物转化生产昆虫蛋白、有机肥等高值化产品，最终实现餐厨垃圾无害化处理与资源化利用，提升我国生活垃圾资源化处理技术整体水平。项目经处理后形成沼气、粗油脂、昆虫蛋白等高值化产品，提升了资源化利用水平，经济、社会和环境效益显著，预计每年实现二氧化碳减排7.2万吨。此外，为了

更好地管理和优化餐厨垃圾处理流程，该项目构建了一套基于餐厨垃圾全生命周期的大数据赋能平台。该平台实现了从垃圾产生源头到收运、处置及资源化产出的全过程智慧管控，大大提高了运行管理效率，确保了项目的长期稳定运行。



项目俯瞰图

六、推广前景

随着城市化进程加速和环保政策持续收紧，餐厨垃圾处理市场需求日益迫切。预计未来三年内，该技术装备可在全国推广 20 台/套，同时带动相关产业链发展，可实现年产值约 20 亿元。在环境效益方面，每处理 1 吨餐厨垃圾约可减排 0.6 吨 CO₂当量，年减排量预计达 540 万吨，有效促进碳减排与资源循环利用。该装备将废弃物转化为资源，兼具显著经济效益与环境效益，并能够创造就业机会，助力提升公共健康水平与环境质量。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：维尔利环保科技股份有限公司

联系人：黄慧敏

联系方式：18862245357

案例三：中电建生态环境集团有限公司河湖污泥工业化处理处置成套

技术装备

一、技术适用范围

适用于水利、环境及公共设施管理行业河湖污泥处理与处置，可有效控制和去除底泥中的重金属以及水体中的 COD、氨氮、总磷等污染物。

二、技术原理及工艺

采用高效重金属河湖污泥调理调质复合药剂对泥浆进行化学调理，实现泥水快速分离及重金属固化/稳定化处理；通过自主研发的调理调质新型材料与板框压滤机结合的高效脱水固结系统，实现泥浆脱水效率提升 50%，缩短处理周期；并将处理后的河湖污泥通过节能环保高强碳化陶粒制备工艺转化为可利用陶粒，实现其资源化利用。



河湖污泥工业化处理处置成套技术及装备工艺流程图

三、技术指标

泥沙分离系统流速 0.1m/s~0.5m/s； 调理调质系统泥浆浓度

10%~15%，流量 $300\text{m}^3/\text{h}$ ~ $400\text{m}^3/\text{h}$ ；脱水固结系统压榨压力 1.0MPa ~ 1.2MPa ，脱水周期 30min ；陶粒焙烧温度 1100°C ，炉内时间控制 30min ~ 40min ；脱水效率提高 50%；余土含水率 $<40\%$ ；污泥减量 $\geq70\%$ ；资源化利用率 $\geq90\%$ ；陶粒满足《轻集料及其试验方法》GB/T 17431.1—2010 要求；余水经 RPIR 及超磁系统处理后达标排放。

四、技术特点及先进性

(一) 自主开发了河湖污泥工厂化处理处置工艺技术体系，系统集成优化了涵盖疏浚、分选、调质、脱水、固化、烧结等多环节核心装备，实现了河湖污泥的减量化、无害化、稳定化、资源化，建立了万吨级首台套河湖污泥工业化处理技术装备，有效解决了水环境治理领域的世界性难题。

(二) 自主研发了高效的河湖污泥调理剂、分散剂、重金属稳定剂等药剂处理体系，通过预处理、调质改性、螯合钝化、脱水固结、富氧烧结及二次资源化等多级工序组合处理，实现了重金属、有机污染物定向调控与强化“解毒”，为有效解决河湖污泥安全消纳问题提供技术装备支撑。

(三) 采用回转窑短流程富氧燃烧技术烧制陶粒，高温碳化去除余土中有机物，尾气余热收集干化陶坯，大幅度减少烟气排放量和热能损失，大幅缩短了产生二噁英适宜温度区间，制备的陶粒及其衍生产品强度高、透气、隔热、隔音等性能好，实现资源综合利用、节能降耗与污染减排有机结合，为河湖污泥资源化利用提供绿色发展路径。

五、应用案例

项目名称：广东省深圳市茅洲河流域（宝安片区）水环境综合整治项目清淤及底泥处置工程

项目概况：项目应用河湖污泥工业化处理处置成套技术及装备，对茅洲河流域（宝安片区）19条干、支流实施清淤，河湖污泥处理工程量约为439.22万立方米，总投资12.65亿人民币，已于2023年4月完成验收。

（一）项目应用前后对比说明

1.项目应用前：茅洲河干流共和村国考断面COD、氨氮、总磷平均浓度为72.55mg/L、21.73mg/L、4.57mg/L，分别超出《地表水环境质量标准》V类水标准1.81倍、4.83倍和10.87倍；底泥中铜、铅、镍、锌、镉等重金属污染物超标严重，其中铜最多超标12.8倍，镍最多超标34.4倍。

2.项目应用后：2020年12月，茅洲河干流共和村国考断面COD、氨氮、总磷浓度分别降至12.63mg/L、0.45mg/L、0.28mg/L，铜、锌、镍、铬等重金属均低于IV类水标准，实现从重度黑臭到地表水IV类的跨越，水体透明度提升50%以上，生物多样性显著增加。

（二）项目经济效益和社会效益

1.经济效益：项目处理439.22m³河湖污泥，产生余土135万m³、余沙30万m³，资源化利用可节约和创造经济效益约3700万元；另外据相关报道释放茅洲河两岸土地15平方公里，土地价值约1200亿元，有力提升城市空间和经济潜力。

2.社会效益：项目显著改善周边生态环境和景观，增强居民亲近自然体验，推动“美丽河湖”“幸福河湖”建设，促进城市可持续发展。



茅洲河治理后实景图



茅洲河底泥处理厂全景图

六、推广前景

随着流域水环境治理持续推进，河湖底泥处理需求呈现稳步增长的趋势。据权威机构预测 2030 年市场规模将超 3000 亿元。根据公司市场业务发展规划以及行业市场前景预测，未来 3 年内预计推广 15 台套，按照每台套投资 5000 万元带来产值 7000 万元计算，预计总投入 7.5 亿元，产生经济效益 10.5 亿元。

按照单套该技术装备年处理能力为 43.8 万 m^3 ，在碳排放减排方面，粗略估算每处理 1 方（水下自然方）河湖污泥可减少二氧化碳排放 0.2 吨~0.3 吨，由此推算 3 年后该技术装备可实现减少二氧化碳排放 131.4 万吨~197.1 万吨。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：中电建生态环境集团有限公司

联系人：韩景超

联系方式：15013887964

案例四：辽宁建兴固废资源循环利用有限公司多源冶金固废协同提取与短流程资源化技术装备

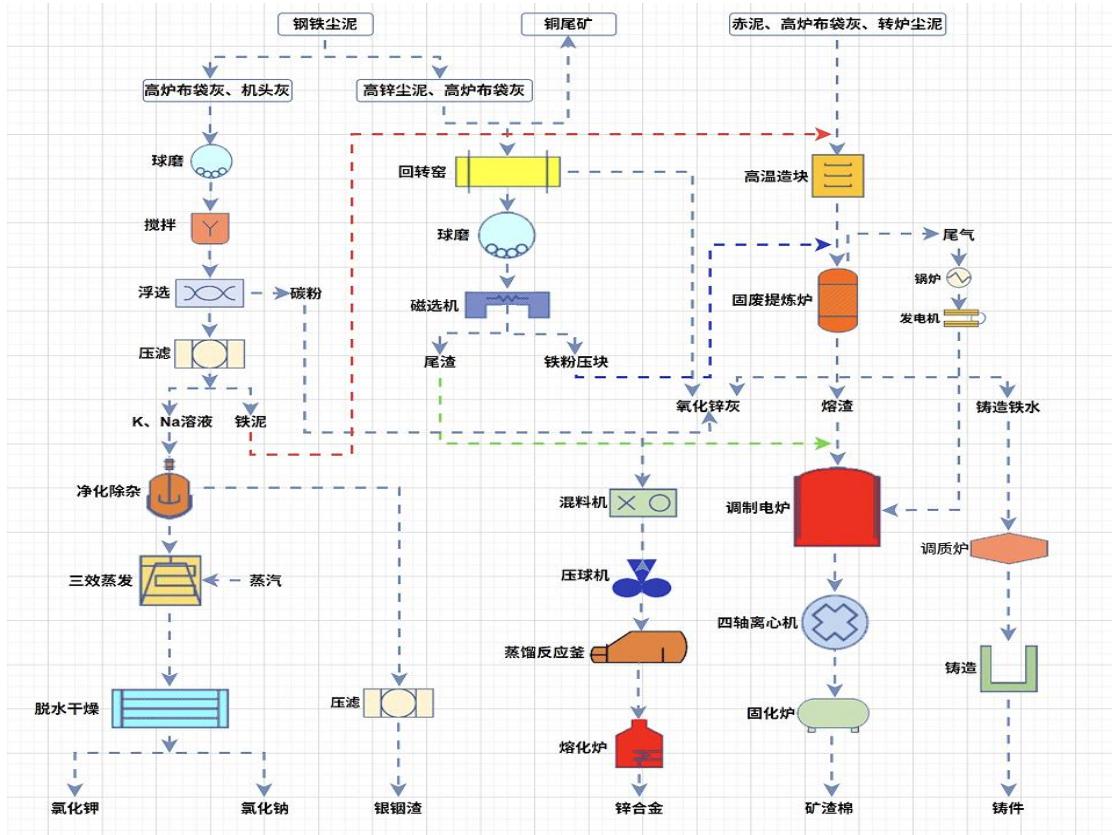
一、技术适用范围

适用于钢铁、有色行业的冶金尘泥、铜尾矿、赤泥等固废综合利用。

二、技术原理及工艺

多源冶金固废协同提取与短流程高效回收技术是根据钢铁尘泥、铜尾矿、赤泥等多源固废各组分特点，构建了几种冶金大宗固废协同利用工艺流程和全流程零排放与能源梯级利用体系，从而实现多源冶金固废的大规模高效综合利用。

用。多源固废的协同利用的技术思路为：



工艺流程图

三、技术指标

技术参数：单条线多源冶金固废 协同处理能力 \geq 50 万吨/年，年作业率 \geq 90%，综合能耗 \leq 300kgce/t 固废；多源固废中 Fe 回收率 \geq 98%，产品符合国家、地方制定或行业通行的被替代原料生产的产品质量标准，以及符合相关国家污染物排放(控制)标准或技术规范要求，Zn 回收率 \geq 95%，氧化锌产品符合《锌冶炼用氧化锌富集物》(YS/T1343-2019) 标准；固废中 K、Na 回收率 \geq 95%，KCl 产品符合 GB 6549-2011，NaCl 产品符合 GB 5462-2015；尾渣资源化利用率达到 100%。

四、技术特点及先进性

本技术构建的多源冶金固废协同利用流程，根据每种固废的组元特点，进行酸碱配伍耦合搭配处理，不但回收了各种固废中的有价金属元素，而且促进了工艺流程的稳定顺行，实现了以废治废协同利用。结合冶金行业固废特点，采用黑色冶金、有色冶金、湿法萃取、火法分离、电解分离、化工分离有机衔接工艺技术，实现有价元素“一步提取、吃干榨净”，生产终端产品。

五、应用案例

项目名称：辽宁建兴固废资源循环利用有限公司 150 万吨/年多源大宗工业固废协同利用”项目。

项目概况：

(一) 用户用能情况简单说明

本项目年处理冶金固废 150 万吨，综合回收氯化钾 1.5 万吨，锌合金 7.5 万吨，金属铁 30 万吨，矿渣棉 12 万吨。相当于减少钾矿资源消耗 10 万吨，锌矿资源消耗 20 万吨，铁矿资源消耗 70 万吨。与

从矿石原生生产金属相比，本项目从固废中回收金属锌可以降碳 9.75 万吨，回收金属铁可以降碳 36 万吨，制备矿渣棉可以降碳 6 万吨，多源固废协同处置合计可以降低 CO₂ 排放 51.75 万吨，实现了资源高效循环利用降低工业领域碳排放。

（二）实施内容及周期

本项目总投资约 10 亿元，建设高锌固废处理生产线两条，冶金固废全分离生产线一条，短流程保温岩棉工厂一座，提取稀有稀贵金属及副产品制钾肥工厂一座，余热、余压、废气发电厂一座。建成后可生产再生铁 15 余万吨，高端铸件 30 万吨，合金锌锭 7.5 万吨，工业用盐 0.6 万吨，农业用钾肥 1.5 万吨，保温岩棉 12 万吨以及稀有稀贵金属若干，余热、废气年发电 24000 万 KWH，年产值可达 40 亿元。

六、推广前景

构建废弃物循环利用体系是实施全面节约战略、保障国家资源安全、积极稳妥推进碳达峰碳中和、加快发展方式绿色转型的重要举措。我国历年堆存的大宗工业固废已超 600 亿吨，占地超 200 万公顷，且每年新增约 33 亿吨工业固废。钢铁粉尘、赤泥、铜尾矿等固废中含有大量有价金属和非金属成分，长期堆放导致资源闲置与浪费。本项目多源固废协同处置的综合经济价值可以达到 40 多亿元，实现了固废中钾、钠、锌、铁等金属元素的全部回收利用，提取金属元素后的熔渣也进行的高值化建材利用，项目经济效益显著高于传统处理技术。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：辽宁建兴固废资源循环利用有限公司

联系人：林建强

联系方式：13333288666

案例五：泰安乐邦环保科技有限公司涂料废渣资源化利用技术装备

一、技术适用范围

适用于危废废物治理行业，涉及 HW12; HW23

二、技术原理及工艺

采用全物理法再生处理工艺，针对涂料废渣高分子树脂的热敏性特性，开发了低温闪蒸脱水系统、低温高效粉碎系统及智能化运营管理。工艺流程主要包括：（1）机械常温快速脱水：通过高压机械压榨，将含水率从 50%–70% 降至 30%，降低后续热脱能耗；（2）梯度干燥系统：采用网带干燥、桨叶干燥与旋转闪蒸干燥相结合，实现含水率降至 2% 以下；（3）低温超细粉碎：结合气流粉碎与机械微粉碎，制备 40–1000 目复合固体粉末材料；（4）智能化控制：通过 ERP 与物联网系统实现全线自动化运行与能效管理。

工艺过程中同步配置 RTO 废气处理与粉尘收集系统，实现 VOCs、SO₂、NO_x 等污染物的达标排放。

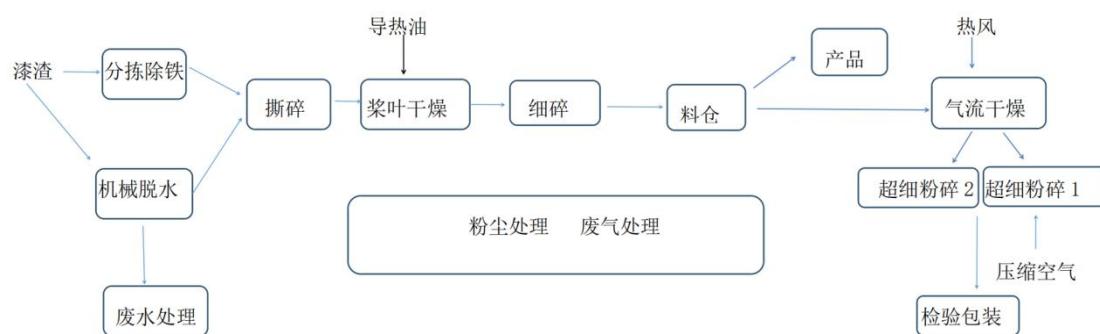


图 1 工艺流程图

三、技术指标

高效机械脱水技术，含水率由 50–70% 快速降至 ≤30%；多级低温烘干技术终含水率 ≤2%；低温双级超细粉碎技术，成品细度 40–1000

目可调；处理能力： ≥ 2 万吨/年（单线）；脱水节能率： $\geq 20\%$ ；粉碎细度：40–1000 目（ $D_{50} \leq 10.4\mu\text{m}$ – $425\mu\text{m}$ ）；VOCs 去除率： $\geq 95\%$ （配套 RTO 系统）；粉尘排放： $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ ；废水回用率： $\geq 80\%$

四、技术特点及先进性

本技术采用全物理法再生工艺，属行业首创，有效避免了高温焚烧带来的二次污染与能源浪费；在此基础上，创新开发低温脱水与粉碎系统，成功解决了涂料废渣中高分子树脂受热易软化的热敏性处理难题，最大限度保持其原有性能；通过智能化集成控制实现生产线全流程自动化与数字化管理，节能率达 20%以上，显著提升运行效率与稳定性；最终实现资源化产物的高值利用，所制备的再生粉体可广泛应用于防腐涂料、木塑制品、防火板等多类产品，形成闭环循环。该技术整体达到国际先进水平，已获山东省重大科技创新工程项目支持，并通过专家组权威评价，为涂料废渣的资源化处置提供了可靠的技术路径与产业化示范。

五、应用案例

项目名称：新泰市振邦涂装工程有限公司涂料废渣资源化利用项目

项目所在地：山东省新泰市

项目概况：项目总投入：4000 万元（年产 2 万吨处理线）

技术应用前后对比：污染物减排： SO_2 减排 2570 kg/a, NO_x 减排 30130 kg/a, CO_2 减排 11282 t/a；节能效果：节省天然气 120 万 m^3 /年，节电 20%以上；资源回收：年产出复合固体粉末 1.2 万吨，替代原生

树脂与颜料；经济效益：年新增销售收入 6120 万元，利润 1664 万元，投资回收期约 2.46 年。



图 2 涂料废渣资源化利用技术与自动化生产线图

六、推广前景

该技术适用于涂装、化工、危废治理等行业，具备广阔推广空间。预计未来 3 年内，可在全国涂装产业集聚区推广建设生产线 10 套以上，年处理涂料废渣能力超 20 万吨，实现年产值约 5 亿元，年减排 CO₂ 约 30 万吨、SO₂ 约 260 吨、NO_x 约 3000 吨。该技术将有力推动涂料行业绿色转型，助力“无废城市”建设与“双碳”目标实现。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：泰安乐邦环保科技有限公司

联系人：徐加琪

联系方式：18506141856

案例六：浙江宜可欧环保科技有限公司废线路板汽馏热解资源化成套装备

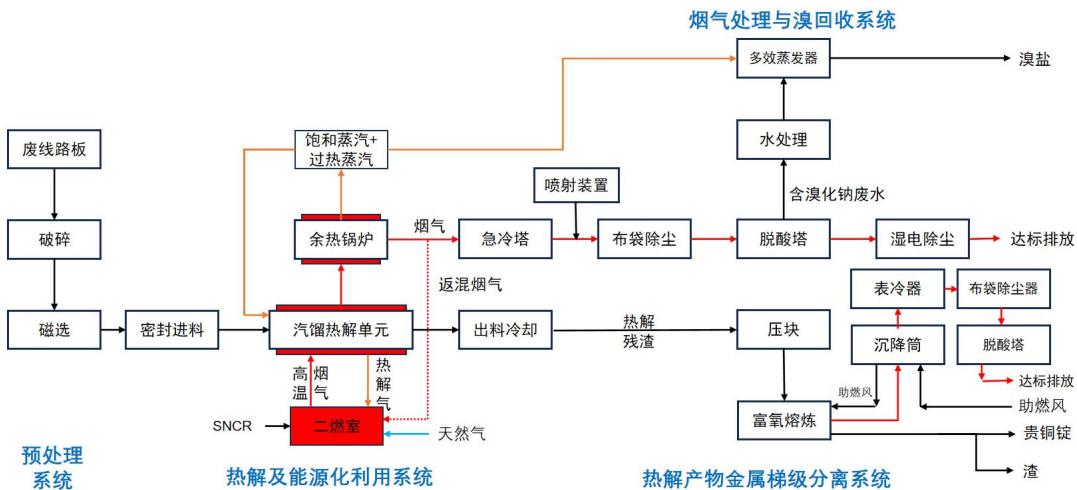
一、技术适用范围

适用于废旧电子电器拆解回收、电子产品生产制造等工业领域产生的废电路板及边角料的处理和资源化利用。

二、技术原理及工艺

线路板汽馏热解资源化成套技术，是采用以过热蒸汽为辅助的内外加热耦合式汽馏热解工艺为核心，将废线路板中的低值有机组分深度热解、气化脱除并能源化利用，使溴系特征污染物靶向迁移至气相，在烟气脱酸环节被高效捕集、定向转化为高价值的溴盐，经高盐溶液分盐系统回收。

热解后固相产物经富氧熔炼、铸锭工艺生产铜合金锭。由于有机质深度脱除、金属品位得以富集，富氧熔炼入炉品位和熔炼效率大幅提升，污染负荷、熔炼成本和金属损失大幅下降，整体提升废线路板的资源化利用率和金属回收率。该技术尾气经处理后达标排放，生产废水经处理后全部回用。



工艺流程图

三、技术指标

汽馏热解有机物去除率 $>99\%$ ；铜回收率 $>98\%$ ，稀贵金属（金、银）回收率 $>97\%$ ，与直接熔炼相比金属回收率提高1-3%，熔炼燃料消耗降低50%；溴元素回收率 $>95\%$ ，回收溴盐纯度 $>75\%$ ；热解烟气达到《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484-2020），HBr含量达到上海市《大气污染物综合排放标准》（DB31/933-2023）。

四、技术特点及先进性

(1) 采用内外耦合式加热汽馏热解技术，在强化温度场、流体力场的复合作用下，实现废线路板热解传热传质和反应效率的提升。促进低值有机组分的深度脱除和轻质化，实现能源化利用，为汽馏热解系统提供主要热源。突破了废线路板低值树脂粉难处理、难利用的产业发展瓶颈。

(2) 采用汽馏热解-烟气脱酸-废水分盐技术，将废线路板的毒性溴系特征污染物靶向迁移、高效捕集、定向转化为高值化的溴盐产品，解决了关键环境风险问题，同步提高了资源化效益。

(3) 采用“汽馏热解+富氧熔炼”组合工艺，通过有机物和溴化物

的深度预脱除和金属品位富集，降低了熔炼生产负荷、燃料辅材消耗和运行成本，降低了熔炼污染负荷、烟气处理难度和环保设施投资、成本，提高了富氧熔炼效率和金属回收率。

五、应用案例

项目名称：10万吨含贵稀金属废旧电子物料资源再生项目



项目现场图

项目概况：

（一）基本信息

该项目位于江西新余，规划总投资 4 亿元，占地 43.1 亩，总建筑面积 1.9 万平方米。以废线路板为原料，采用火法（包括汽馏热解、CF 炉熔化、分离等）工艺生产贵铜锭，以 IC 屑件、铜镀金银料、含金银废液为原料，采用湿法和火法工艺生产金锭、银锭、铜锭。

（二）环境效益

危废削减方面，截至目前，项目已累计处理废线路板（危险废物）3.1 万余吨，累计削减 2.4 万吨次生危废（废树脂粉）。综合利用方面，项目已生产资源化再产品贵铜锭 6900 余吨、粗溴盐 900 余吨，实现了低价值有机组分的深度脱除和能源化利用，热解气燃烧为热解

反应供能，特别的，将溴系特征污染物转化为高价值溴盐。碳减排方面，本技术与原生铜矿冶炼、溴化工生产相比，再生铜碳减排当量为 20580 吨 CO₂/年（未计算金、银等稀贵金属再生对应的碳排放），再生溴盐碳减排当量为 3840 吨 CO₂/年，两项合计为 24420 吨 CO₂/年。

（三）经济效益

项目一期建成废线路板年处理能力 5 万吨/年，已累计处理 3.1 万吨，生产贵铜锭约 6500 吨，实现销售收入 4.74 亿元。一期项目达产后，预计实现年均销售收入约 7.6 亿元，年均利润约 3500 万元。

六、推广前景

该技术有助于推动产业技术发展和进步，引领废电路板回收行业突破低水平、同质化的发展困境，实现良性循环和高质量发展，有利于推动完善废线路板回收和再生有色金属循环经济体系，为国家矿产资源安全贡献力量。有助于推动减污降碳协同增效，助力无废城市建设、循环型社会建设和“双碳”战略目标达成。

预计未来 3 年，累计建成废线路板处理产能为 55 万吨/年，年产再生铜锭 12.65 万吨、溴化钠盐 1.89 万吨，年综合能耗 2.7 万吨标煤，每年再生铜、再生溴盐两项实现 CO₂ 减排 44.7 万吨。预计累计投资约 13.2 亿元，其中设备投资约 9.9 亿元。预计可实现再生产品销售收入约 93.61 亿元/年，利润约 3.96 亿元。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：浙江宜可欧环保科技有限公司

联系人：潘佳伟

联系方式：15868240092

案例七：江苏集萃道路工程技术与装备研究所有限公司沥青路面热风 微波复合加热原位再生成套装备

一、技术适用范围

本项目属于道路施工与养护机械设备领域，主要应用于国省干线公路尤其是高速、二级以上国省道、市政道路等巨大的养护工作量、高标准的养护工程质量及超大交通量条件下的路面养护；适用于基层承载良好，沥青路面（表面层 1-6cm）与基层承载力无关的所有路面病害。

二、技术原理及工艺

沥青路面热风微波复合就地热再生设备由 3-4 台就地热风加热机、1 台就地加热铣刨机、1 台就地微波加热机和 1 台就地复拌机组成，如图 1 所示。



图 1 成套装备工艺流程图

工作原理：通过对沥青路面加热、铣刨、然后掺入一定比例的新集料、新沥青、再生剂等，经拌和、摊铺、碾压等工序，一次性实现表面一定深度范围内的旧沥青路面再生。

三、技术指标

就地热再生成套装备主要技术指标：作业宽度：4m；施工速度：0-5m/min；再生料循环利用率：100%。

主要污染物控制指标：PM10：5 mg/m³；苯并[a]芘：10 ng/m³；氮氧化物（NO_x）：1.0 mg/m³；二氧化硫：0.5 mg/m³；沥青烟：10 mg/m³。

就地热再生机组作业过程中，距设备外缘水平0.5 m、距地面高1.8 m的范围空气温度不应高于50 °C。

就地热再生机组作业过程中的大气透光率不应小于90%。

四、技术特点及先进性

采用关键技术：热风微波复合加热技术；多点提温多级环保治理技术；就地热再生机组无人化施工技术。**1、热风微波复合加热技术。**沥青路面加热采用多单元小分区变功率热风循环加热技术，研制了新型模块化加热墙，采用独特的分风箱和多层次折流板设计，主要由燃烧器、热风炉、分风箱、加热墙体等组成。**2、多点提温多级环保治理技术。**针对就地热再生加热、铣刨、提温、复拌等环节产生的沥青烟尘等污染物排放，开展环保治理技术研究，具体包括：燃烧法、吸附收集法、低温等离子体烟气净化法、UV光催化氧化净化法、冷凝法等。**3、就地热再生机组无人化施工技术。**项目重点开展就地热再生机群养护智能化施工、无人驾驶技术研究，包括施工质量的机群协同控制技术、机群无人驾驶技术，实时采集并反馈施工过程信息，如：环境温度、各阶段路面温度、车辆速度、车间距、新材料添加量、燃油消耗量等关键参数，对施工过程实时分析并对质量进行预测，提高作业标准化水平及工程质量，降低安全风险，为旧沥青路面高效、高环保、高质量就地热再生提供支撑和保障。

五、推广前景

在产品销售上，按年产销 5 台套计算，就地热再生机组年销售收入不低于 1.1 亿元，新增利税超过 3500 万元。在产品租赁上，按年租赁 5 台套，年施工里程 100km/台套计算，就地热再生机组年租赁收入 4000 万元，新增利税约 1000 万元。在工程施工上，按年租赁 5 台套，年施工里程 100km/台套计算，就地热再生机组年租赁收入超 1.5 亿元，新增利税约 3500 万元。在固废资源利用上，可实现旧沥青混合料 100% 循环再利用。在交通畅通保障上，相比传统铣刨重铺工艺，具备养护和开放周期短、车道占用少、交通影响小等优点。单位面积减排二氧化碳约 10kg，节约标准煤质量约 4.64kg，具备良好的经济效益和社会效益。

六、支撑单位信息

支撑单位名称：江苏集萃道路工程技术与装备研究所有限公司

联系人：李家春、张江勇

联系方式：13512560365、13852474700

案例八：中科合肥煤气化技术有限公司气化灰渣清洁焚烧处理技术装备

一、技术适用范围

适用于冶金、建材及煤化工等工业领域煤气化灰渣的综合利用。

二、技术原理及工艺

针对气化灰渣着火稳燃困难和燃尽率低等问题，提出燃前活化CFB焚烧技术。与原有循环流化床直接焚烧相比，该方法利用循环流化床高通量高温循环物料作为活化反应的热源，通过构建燃前活化单元，利用燃前活化单元气氛、温度及停留时间进行调控，将失活的气化灰渣活化，进而实现不添加辅助燃料的煤气化灰渣高效焚烧。

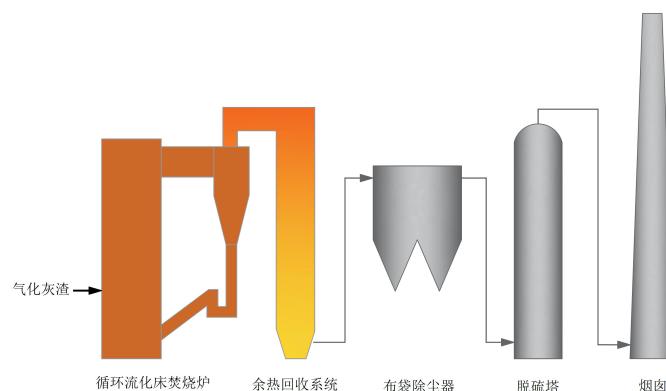


图 1 工艺流程图

三、技术指标

- 1、单炉气化灰渣处理量 $\geq 500\text{t/d}$ ； 2、NOx 排放浓度 $< 50\text{mg/m}^3$ ；
- 3、SO₂ 排放浓度 $< 35\text{mg/m}^3$ ； 4、烟尘排放浓度 $< 5\text{mg/m}^3$ 。

四、技术特点及先进性

针对气化灰渣挥发分低、粒径细、反应活性差的难题，突破了超细粒径物料流化与高通量循环、超低挥发分燃料着火稳燃与燃尽、高

效传热及污染物控制等关键技术。通过改变返料器、旋风分离器等部件设计，延长了气化灰渣在炉内停留时间，提高燃尽率。采用创新燃烧方式，强化燃烧过程，提高了燃烧效率。优化受热面布置，保证稳定的锅炉出力和蒸汽参数。不添加辅助燃料，实现了气化灰渣高效清洁焚烧。

五、应用案例

项目名称：江西高安 130t/h 超高温超高压带再热循环流化床飞灰焚烧炉项目

项目概况：为了实现气化灰渣的高效清洁利用，项目采用了超低挥发分超细含碳燃料循环流化床焚烧技术，共建设 3 台处理量 500 吨/日气化灰渣焚烧炉。该焚烧炉产生的超高温超高压蒸汽参数在同容量等级的焚烧炉中最高，并配套发电量为 45MW 的余热余能发电装置 3 套。本项目于 2018 年 12 月开工建设，2020 年 8 月实现纯烧气化灰渣运行，焚烧炉运行稳定，关键性能指标优良，各项优势得到有力彰显。根据测算，本项目可实现节能量约 32.72 万吨标准煤/年，二氧化碳减排量约 87.05 万吨/年，经济效益显著。



图 2 典型案例照片

六、推广前景

随着我国煤化工行业的快速发展，煤气化过程产生大量气化灰渣，年排放量超 6000 万吨。该技术将气化灰渣进行焚烧处理，可产生高参数蒸汽用于发电或供热，实现从固废到能源的转化，提高资源利用率，符合循环经济理念。可有效控制其他污染物排放，显著减少对大气环境的污染。

预计 2028 年，在气化灰渣焚烧同类业务中（不含填埋、制砖等），本技术国内市场占有率将突破 60%。假设每年处理气化灰渣总量达到 160 万吨，按照当前技术的减排效果估算，每年可减少二氧化碳排放 310 万吨以上，不仅解决了大宗固废气化灰渣难处理的问题，同时为改善大气环境质量做出重要贡献。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：中科合肥煤气化技术有限公司

联系人：刘璐

联系方式：18500976815

案例九：中冶长天国际工程有限责任公司复杂固废资源化利用技术装备

一、技术适用范围

适用于钢铁冶金流程固体废弃物资源化处置，包含有机固废、尘泥类固废、高盐固液废弃物等，也适用于处置市政有机危废和垃圾焚烧废灰等。

二、技术原理及工艺

有机固废、含锌固废、高盐固废分别经过热解、还原、水洗后初步去除污染物后，进入冶金烧结工序进行协同处置，有机固废热解产生的热解焚烧烟气、含锌固废还原产生的还原烟气并入烧结烟气进行协同处置，烧结活性炭烟气净化产生的酸性废水用于高盐固废水洗，实现了固废中多种资源的高效利用和以废治废的目的，提高了资源利用率，降低了钢铁流程复杂固废处置成本。

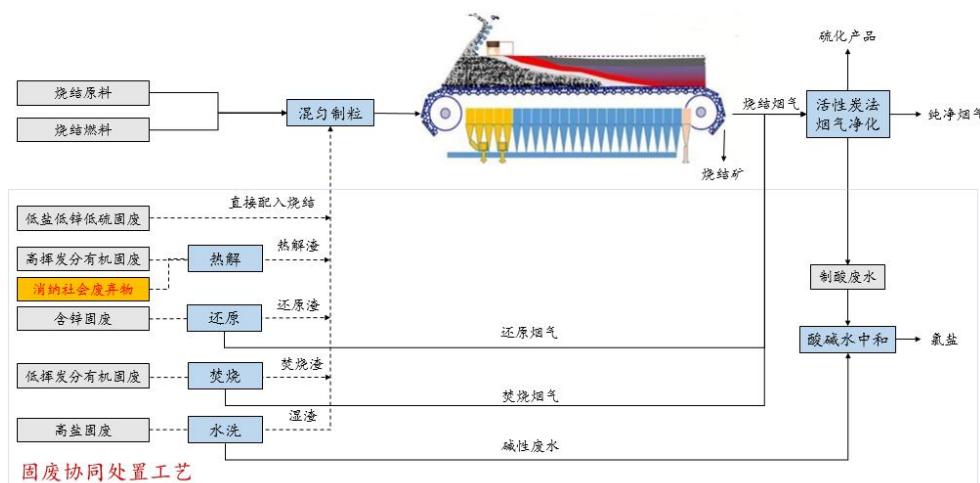


图 1 工艺流程图

三、技术指标

热解焚烧技术处置有机固废能耗 $\leq 150\text{kgce/t}$ ，有机固废能源回收

率 $\geq 60\%$ ；脱锌渣金属化率最高达 $\geq 88\%$ ，锌残留量 $<0.3\%$ ；机头灰中钾、钠回收率 $\geq 90\%$ ，钾盐纯度 $\geq 92\%$ 。

四、技术特点及先进性

开发了钢铁流程典型复杂固废资源化循环利用工艺技术。研究了钢铁流程气液固多相协同资源化消纳固废工艺流程，确定了多尺度约束条件下分离后富碳渣、富铁渣、高盐固废水洗渣循环利用最佳掺用比例，开发了多场可控回转窑、多段式高温渣干湿冷却及余热回收、盐分连续浸提及多资源异步分离蒸发结晶等成套装备，实现了“以废代碳”、“以废代铁”的固废生态化处置。

五、应用案例

项目名称：永锋临港 15 万 t/a 含锌固废处置工程。

项目概况：

（一）用户用能情况简单说明

项目应用钢铁流程复杂固废资源化处理及循环利用技术，投资规模约 8000 万元，在本项目之前，回转窑法处置含锌固废能耗约为 294kgce/t，脱锌率 85% 左右，年消耗焦炭约 2.2 万吨。项目应用后：回转窑采用厂内富余的高炉煤气和高碳除尘灰作为主要的燃料来源，年消耗高碳除尘灰约 6000t、高炉煤气 24 万立方，年处置含锌固废 15 万 t，产铁渣 9.7 万 t、次氧化锌约 1.03 万 t，品位近 54%。每年创造经济效益 6832 万元，减排二氧化碳 9.79 万吨。

（二）实施内容及周期

1. 采用钢铁流程复杂固废资源化处理及循环利用技术处置有机固废，利用有机固废中的能源替代冶金燃料，避免了固废残渣占用土地填埋，同时节约了化石燃料，降低碳排放；

2. 采用钢铁流程复杂固废资源化处理及循环利用技术处置含锌固废，极大缓解了回转窑易结圈的难题，产品金属化率大幅提升；
3. 采用钢铁流程复杂固废资源化处理及循环利用技术处置高盐固废，首次实现了钢铁尘泥中铁、盐、铊的分离，降低了固废水洗的新水消耗量。

实施周期 10~12 个月。

六、推广前景

随着国家对钢铁绿色发展的要求越来越严格，钢铁企业积极发展循环经济和落实“固废不出厂”政策，对钢铁流程复杂固废资源化处理及循环利用的需求越来越大。国际市场对耐火材料的需求量不断加大。预计每年可为企业新增产值 4.0~6.4 亿元，实现利税 5000~7000 万元，预计近三年可新增产值超 10 亿元，实现利税超 1 亿元。预计近三年将减排钢铁企业含锌粉尘 200 万吨/年，协同处置社会危废 50 万吨/年，回收含锌原料 25 万吨/年，回收含铁原料 150 万吨/年，拥有巨大的经济和社会效益。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：中冶长天国际工程有限责任公司

联系人：刘珍

联系方式：13874821233

案例十：浙江微盾环保科技有限公司微盾摩擦热（非焚烧）医疗废弃物消毒灭菌装备

一、技术适用范围

微盾医疗废物摩擦热处理非焚烧技术主要用于处理具有潜在传染性的固体类医疗废物，对其可实现消毒、脱水、减容等。适用于就地化分布式、集中式等多种场景以及各种大小规模的医疗卫生机构内部医疗废物的就地化无害化处理。如：各种医疗卫生机构场所（包括传染病医院和设有传染病科室的医院、公立医院、民营私人医院、偏远山区卫生室）、动物预防和临床诊断研究所、防疫检疫机构、海关、偏远地区（包括农村、山区及海岛）、城市建成区，特别是医疗废物集中处置设施能力不足且难以扩大产能的大中型城市等。此外，在应对重大传染病疫情、自然灾害等突发事件期间的医疗废物处理具有响应速度快、处理效率高等优势，补足医疗废物处理设施短板。

二、技术原理及工艺

传统医疗废物高温消毒处理技术，如焚烧、高温蒸汽消毒技术、微波消毒技术及高温干热消毒技术等，一般通过外源热量传递方式使废物受热，故存在热量衰减、废物受热不均、运行成本高、废气治理难度大和难以覆盖偏远地区的痛点。本研究团队针对感染性、损伤性及部分病理性废物，开发了基于机械摩擦应力产热灭菌原理的医疗废物就地处理技术。创新性的采用组合式刀具将医疗废物充分研磨破碎，同步利用刀具-物料-板栅机械摩擦应力将机械能转化为热能，运用蛋白质变性动力学模型实现提供高温消毒能量来源，达成破碎粒度与灭

菌效能的动态平衡，首次实现医废“物理减量-生物灭活”的同步完成。

三、技术指标

单次处理量 $\geq 100\text{kg}$ ；消毒时间：20min-40min；杀灭对数值均(枯草杆菌黑色变种芽孢、嗜热脂肪杆菌芽孢) $>6\text{-log}$ ；非甲烷总烃：有组织排放 $\leq 5.5\text{mg/m}^3$ ，无组织排放 $\leq 1.5\text{mg/m}^3$ ；硫化氢：无组织排放 $\leq 0.005\text{mg/m}^3$ ，有组织排放 $\leq 0.01\text{mg/m}^3$ ；废气颗粒物有组织排放 $< 1.0\text{mg/m}^3$ ；噪声昼间值 $< 60\text{dB}$ ；减容率 $\geq 81.6\%$ ；减重 $\geq 30\%$

四、技术特点及先进性

(1) 微盾热摩擦技术的机械结构设计

高频摩擦产热效能提升：基于医疗废弃物物理特性数据库（含摩擦系数、热值等参数），优化异形回转腔体结构与刀片布局，构建三维洋流式物料循环系统，实现 $\geq 100\text{kg}/\text{批}$ 处理量下的快速升温（ ≤ 25 分钟达灭菌温度）。

耐磨材料与传动系统：采用特种耐磨合金（断后伸长率 $>5\%$ ）制造刀片及腔体，设计多段式皮带传动机构，适配高扭矩电机（转速可调范围覆盖 500-3000rpm），确保金属异物冲击下设备无堵滞启动。

热管理模块：集成水冷-风冷双循环系统，通过 PID 算法精确控制腔体温升速率，维持灭菌温度稳定性。

(2) 微盾摩擦热技术灭菌腔室结构强化设计

撞击-摩擦复合灭菌机制：优化超耐磨合金刀片与固定撞击板间距，实现医疗废物粉碎粒径小于等于 5mm，配合大于等于 600°C 摩擦热效应，确保枯草杆菌/嗜热脂肪杆菌芽孢杀灭对数值大于 6.00。

负压废气处理系统：设计三级过滤结构“拉西环喷淋塔+活性炭吸附+HEPA 滤网”，配合管路风机维持-50Pa 负压，实现废气颗粒物有组织排放小于 $1.0\text{mg}/\text{m}^3$ ，二噁英小于 $0.005\text{ngTEQ}/\text{m}^3$ ，非甲烷总烃有组织排放小于等于 $5.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

（3）微盾摩擦热技术低损耗集成刀具研发

抗金属冲击刀体结构：创新锥形刀片布局，配合斜面安装设计，减少金属接触面积 70%以上，延长刀具寿命。

特种耐磨合金配方：研发含不同金属含量的高韧性合金材料，实验室测试耐磨性提升大于 15%，断后伸长率大于 5%，满足高负荷破碎需求。

（4）微盾摩擦热技术高效自清洁灭菌桶结构设计

深层灭菌执行机构：设计双翻板破碎-喷淋一体化系统，破碎辊线速度大于等于 8m/s ，配合消毒液正压喷淋，实现医疗废物内层细菌暴露率大于 95%。

自清洁循环系统：采用双过滤网交替工作机制，配合毛刷自清洁模块，确保废液处理流量大于等于 $2\text{m}^3/\text{h}$ ，颗粒物拦截效率大于 99.5%。

（5）微盾摩擦热技术的电气和软件控制设计

双冗余温控系统：部署两套独立铂电阻温度传感器，通过 Modbus 协议实现数据交互，PID 控制周期小于等于 100ms，确保温度波动小于 $\pm 3^\circ\text{C}$ 。

智能控制算法：开发基于物料特性数据库的自适应控制模型，实现电机转速、喷淋流量、紫外灯功率的动态调节，处理周期缩短至

25 分钟内。

安全防护体系：构建三级安全回路“急停按钮+安全光栅+软件互锁”，符合 IEC 61508 SIL2 标准，故障响应时间小于 50ms。

（6）微盾摩擦热技术高效防堵塞水循环系统装置

动态过滤切换机构：采用液压驱动转轴系统，实现过滤网交替工作周期小于等于 10 秒，配合 U 型支架自锁结构，防止反吹时过滤网位移。设计螺旋挤压分离器，预先去除大颗粒杂质，降低过滤网堵塞风险，废液处理效率提升 30%。

通过 121°C 以上高温摩擦+紫外协同灭菌双机制保障。采用“喷淋吸收+催化氧化+高效过滤”组合工艺，确保恶臭污染物（H₂S）排放浓度低于国标限值。

五、应用案例

1.项目名称：杭州市第一人民医院医疗废物就地化、无害化处置项目

2.项目所在地：浙江省杭州市上城区浣纱路 261 号

3.项目概况：

（1）案例单位：杭州市第一人民医院，创建于 1923 年，是杭州地区融医疗、教学、科研、预防和社会保健于一体的市属最大的综合性三级甲等医院，是浙江省首批通过三甲评审的四家医院之一。承担杭州市产科、骨科、重症医学、急诊、放射、超声、病理、检验、药事、护理、院内感染、门诊、临床用血、健康体检、医学研究伦理、病原微生物实验室生物安全、康复医学、消化内镜 18 个质控中心的建设工作。

(2) 污染特征：杭州市第一人民医院湖滨院区实际开放床位约 1600 张，日均医废产量 3-4 吨，医院原本采用的院内暂存堆放，远距离转运，集中处置的管理模式。

(3) 工程规模：微盾专家团队多次走访医院，实地考察院内环境，针对医院在医废管理上的痛点，为医院量身打造此技术方案：安装 2 台微盾 WD50 设备，自带废气过滤、除味，废水智能化治理配套系统，设备的医疗废物最大处理能力超千吨/年，每日处理医疗废物约 3-4 吨，完全满足医院的处置需求。

(4) 项目时间：2024 年 10 月-2025 年 3 月

(5) 项目验收单位：杭州市第一人民医院

(6) 验收日期及验收结果：2025 年 3 月，验收合格，杭州市第一人民医院医疗废物就地化、无害化处置项目正式投入运行。

(7) 应用效果论：引入了微盾的设备后，医院的医废垃圾可以做到日产日清，没有了原来暂存模式带来的风险。目前医疗废物最大处理能力 1000 吨/年，每日处理医疗废物约 2-3 吨，减容率达到 80% 以上，减重率达到 30% 以上，灭菌效果可达 99.9999%，真正实现消毒毁行于一体。环境效果参数、工艺运行参数均满足《医疗废物处理处置污染控制标准》（GB 39707-2020）相关要求，项目设备目前持续运行中。

4. 能源、资源节约和综合利用情况：

通过机械摩擦直接生热，能量转化效率高，避免了传统焚烧所需的外部燃料。同时，彻底免除了医疗废物专用车辆长途转运的燃油消耗，从运输和处置两个环节实现了深度节能。

就地处置能显著精简管理流程并降低人力成本，例如杭州市第一

人民医院医院在采用就地处置后，因无需 24 小时值守对接外运单位，有效降低了管理成本。

六、推广前景

微盾医疗废物摩擦热处理技术可实现医疗废物就地化无害化处理，可以为现有医疗废物处置模式、处理技术提供新模式、新技术，有利于进一步补齐我国偏远地区医疗废物处置能力短板，进一步推动我国未来医疗废物环境管理与处理处置规范化、精细化和科学化发展。

目前我国医疗废物按照平均现行 2000 元/吨的传统非焚烧技术运行成本，据预测，2025 年医疗废物实际产生量约 340 万吨，医疗废物处理处置实际市场规模超过 68 亿元，若覆盖 50% 的市场规模，以该技术设备 200 元/吨的运行成本计算，采用微盾医疗废物摩擦热处理技术将节省约 30.6 亿元的成本，将直接给整个社会及医疗卫生机构节约巨大经济成本，具有广阔的市场推广前景。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：浙江微盾环保科技有限公司

联系人：林先生

联系方式：186 0581 4444

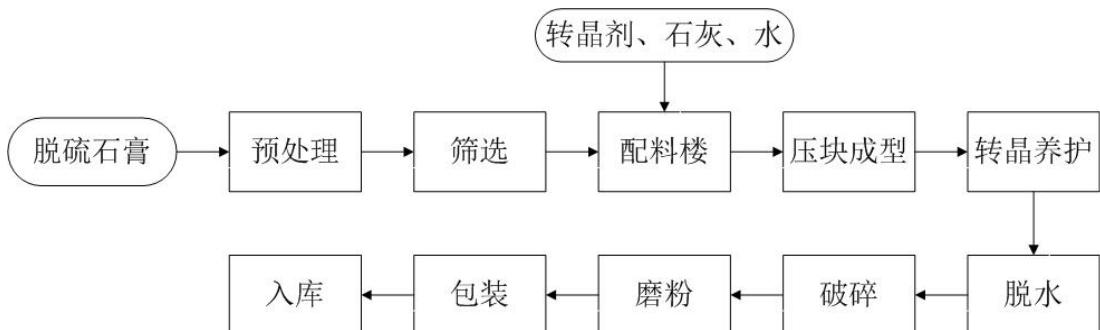
案例十一：河南省机械院机械装备股份有限公司脱硫石膏处理制 α 型石膏技术成套装备

一、技术适用范围

适用于工业热电厂脱硫石膏制备 α 型高强石膏的资源化应用。

二、技术原理及工艺

本装备以脱硫石膏为主要原料，采用半干法，经预处理（清除杂质、降低氯离子等）—配料搅拌（添加转晶剂）—压块成型（提质增效）—转晶蒸养—烘干脱水—破碎研磨等工艺生产 α 40型（2小时抗折强度 $\geq 5.0\text{Mpa}$ ，烘干抗压强度 $\geq 40\text{Mpa}$ ）或 α 50型（2小时抗折强度 $\geq 6.0\text{Mpa}$ ，烘干抗压强度 $\geq 50\text{Mpa}$ ）高强半水石膏的智能化、数字化生产线。主要流程示意如下：



三、技术指标

年消纳脱硫石膏 ≥ 22 万吨，制备 α 50型高强石膏年产量 ≥ 20 万吨。

四、技术特点及先进性

1、全自动压块成型系统：采用公司自主研发的JYM-1280型全自动液压成型机（最大压力12800KN，压制压强 $\geq 20\text{MPa}$ ），将松散石膏粉压制成通孔块（保障蒸汽渗透性与热交换效率平衡），提升转

晶蒸养期间石膏原料的热传导效率，缩短转晶蒸养时间。

2、转晶蒸养系统：带预热功能蒸压釜（专利技术）+蒸汽梯度利用，蒸汽余热预热石膏原料和蒸压釜，热力节能 30%，转晶时间缩短 4h，冷凝水回用率≥95%。

五、应用案例

项目名称：河南锐之盛新材料有限公司年产 5 万吨 α 型高强度石膏全自动生产示范线

项目所在地：河南郑州惠济区

项目概况：

河南锐之盛新材料有限公司成立于 2023 年，是为专业从事半干法生产 α 型高强度石膏而成立，建成有一条年产 5 万吨 α 型高强度石膏全自动生产示范线。项目自 2023 年 6 月投建，2023 年 12 月完成试生产，2024 年 1 月正式投产，其稳定生产的 α 型高强度石膏被广泛应用于注浆陶瓷模具、滚压陶瓷模具、石膏基建筑砂浆；在陶瓷模具的应用中，大幅提升陶瓷模具的强度、耐久性和稳定性，并有效降低了陶瓷模具的使用成本，提升陶瓷模具的生产效率；在石膏基建筑砂浆的应用中，一是大幅提升建筑砂浆的强度和稳定性，降低需水率，二是在行业内首次实现与细尾矿砂的结合配比，使得-200 目以下的细尾矿砂得以资源化应用，不仅实现了脱硫石膏以其产品 α 型高强度石膏的大量应用，也有效解决了超细尾矿砂堆放或入尾矿库难的现实困境，具有较强的推广意义。

项目环境效益：

1、本项目以热电厂的副产脱硫石膏为主要原料，年有效消纳脱硫石膏 5.5 万-6 万吨，减少堆存占地 8-10 亩，避免土壤及地下水污

染。推动电厂固废“变废为宝”，实现石膏固废的“零填埋”。

2、本项目产出的 α 型高强度石膏产品较传统的 β 型半水石膏具有强度高、应用需水量少的巨大应用优势，其强度是常用 β 型半水石膏的3-5倍，应用需水量则是常用 β 型半水石膏的的1/3。在实际应用中，一是应用场景更为广泛，进而提升了脱硫石膏固废的利用率；二是生产与应用更为节能、节约、高效，降低了生产过程中的能源消耗和应用过程中的水资源消耗。

项目经济和社会效益：

1、低成本高附加值

原料成本低（脱硫石膏常免费或低价获取）， α 石膏售价可达普通石膏粉2-3倍（市场价约1000-1500元/吨）。年产值约5000万-7500万元，按25%利润率估算，年利润约1250万-1875万元。

2、政策红利与降本

申请资源综合利用增值税退税（如30%即征即退），叠加地方固废处理补贴。全自动线降低人工成本30%以上，提升生产效率。

3、循环经济示范

推动“电厂脱硫石膏→高值石膏产品”产业链闭环，助力“无废城市”建设。

4、就业与区域协同

直接创造20-50个技术岗位，间接带动物流、配套产业就业。为周边建材、陶瓷等行业提供优质原料（如模具石膏、自流平砂浆），降低其采购成本。

5、技术升级引领

自动化生产模式为传统石膏产业提供转型升级样本，促进区域绿

色制造水平提升。

六、推广前景

1、未来三年普及率与市场规模

产能扩张：2025 年全国脱硫石膏产量 1.1 亿吨，综合利用率目标 75%， α 石膏占比将从当前 <5% 提升至 2028 年 15%（1650 万吨/年）。

该技术装备渗透率预计达 30%（对应年处理脱硫石膏 495 万吨），覆盖 22 条生产线（单线 22 万吨计）。

投资规模：单线投资 1.2 亿元，2028 年总投入 26.4 亿元（22 条线）。

2、减排与经济收益

指标	2028 年预测值	计算依据
固废资源化	495 万吨脱硫石膏	22 条线×22 万吨/线
经济效益	年产值 39.6 亿元	495 万吨×800 元/吨（ α 50 溢价）
成本节约	19.8 亿元/年（天然石膏替代）	495 万吨×1.3 吨天然石膏×300 元/吨

七、支撑单位信息

支撑单位名称：河南省机械院机械装备股份有限公司

联系人：黄佩

联系方式：18903842059

（四）土壤污染修复

案例一：同济大学污染场地原位搅喷多通道加药智能修复装备

一、技术适用范围

本技术主要适用于污染土壤与地下水原位修复工程，特别是以黏性土壤为主、药剂传质受限、地层非均质性强、污染程度高的复杂污染场地的原位高效修复。涉及化工、石油、焦化、农药、印染、冶炼、电镀等重点行业受氯代烃(如三氯甲烷、四氯化碳)、多环芳烃(PAHs)、石油烃(TPH)、有机磷/有机氯农药等污染场地的原位化学氧化/还原修复，以及多重金属污染场地的原位固化稳定化治理等。

二、技术原理及工艺

污染场地原位搅喷多通道加药智能修复装备是一种集土壤破碎、药剂混合与智能化加药于一体的高效原位修复技术系统，其核心原理在于通过高压驱动系统将特制钻头深入污染土壤目标区域，在钻进过程中同步完成土壤搅拌、药剂注入与污染物修复过程。该装备采用多通道加药设计，能够实现不同种类修复药剂的独立输送与精准配比，避免药剂在输送过程中的提前反应或失效问题，从而提升修复效率和适应性。

装备工作时，首先由高压驱动系统推动钻头垂直打入污染土层，钻头上设置有多级搅拌叶片与高强度搅拌钉齿，呈倒三角分布，并以一定倾角布置，增强了对土体的切削能力与扰动效果。搅拌钉齿采用

硬质合金材料，具有高耐磨性和抗压强度（可达 1400 MPa），可有效应对砂砾、黏土等复杂地层，显著提高钻头对土壤的破碎能力和搅拌均匀度。同时，搅拌叶片的倾斜布置与钉齿结构还能有效防止施工过程中杂物缠绕，保障钻头顺畅旋转与持续下钻。

装备包括多通道加药模块，通过分布在钻头不同层级的喷嘴将修复液均匀喷射至被搅拌松散的土壤中。喷嘴布局优化设计于搅拌叶片下方，既避免了直接磨损，又提升了药剂与土壤的融合均匀性。药剂在土壤中与污染物发生氧化、还原或稳定化反应，从而实现对有机污染物或多金属复合污染的有效治理。



装备实施技术图

三、技术指标

本技术装备是一种新型的原位深层高效修复设备，通过本装备可将修复药剂/材料，如氧化剂、还原剂、稳定化材料等原位高效递送到修复目标区域，以实现药剂的高效传质；通过递送的修复药剂/材料可实现对有机污染物（如多环芳烃、氯代烃、石油烃、苯系物等）

的高效降解反应和重金属（如铅、镉、砷等）的固化稳定化，达到预定的修复和管控目标。本装置的原位钻进深度可达 30 m；可实现多通道同时加药，药剂投加精度可控制在 100 g/m；最大混合直径可达 2.2 m；药剂与土壤混合度可达 95%以上，混合与修复效果比行业同类产品提高 30%-50%，降低工程成本 30%以上。

四、技术特点及先进性

本装备是 2 项国家重点研发专项“铅锌冶炼场地土壤多金属同步稳定化材料、技术与装备”、“在产医药化工园区土壤-地下水污染防治与原位修复”的研究成果，装备已通过科技部国家重点研发专项专家组进行了现场核查与评价。

本技术装备在关键核心技术、工艺集成与工程应用方面具有显著先进性，整体达到国际领先的技术水平，填补了我国在高效原位修复装备领域的技术空白。

在核心装备设计与制造方面，创新研发了多级搅喷钻头结构与多通道加药系统，具备深层钻进、高效混匀、多药剂协同注入等功能。其中，四级倒三角排布叶片结构与 30°倾角设计，显著提升了土壤破碎与药剂扩散效率，混合质量达 98%，显著优于高压旋喷工艺。该设计有效解决了国内修复装备在复杂地层适应性差、混合效率低、药剂利用率低等“卡脖子”问题。

在智能化控制与系统集成方面，开发了基于计算机视觉与数字图像处理的混合质量在线监测系统，实现了修复过程的实时反馈与动态调控，填补了国内在修复过程智能控制方面的技术短板，推动修复工程由“经验驱动”向“数据驱动”转变。

综上，本装备在理论模型、核心结构、系统控制等方面均实现重

大突破，具备完全自主知识产权，整体技术水平处于国际领先水平，对推动我国污染场地修复装备高端化、智能化发展具有重要意义。

五、应用案例

项目名称：太仓市城厢镇沿河地块污染土壤与地下水修复工程

项目概况：

项目地点位于苏州市太仓市西南部城厢镇，地块红线面积 25200 m²。地块历史上开办多家化工厂，导致地块土壤和地下水污染，污染深度达 30 m。土壤超标污染物为氯乙烯、氯仿、四氯化碳、六氯苯等，地下水中包括二氯甲烷、四氯乙烯等多项指标在内的 19 种污染物超标。

修复技术路线为：针对污染土壤采用原位搅喷化学氧化法修复；针对污染地下水采用抽出处理+原位化学氧化法修复。其中原位化学法采用原位搅喷加药工艺，采用研发的装备进行加药。氧化药剂为过硫酸钠，活化剂为氧化钙，氧化剂与活化剂同时在地下投加。

土壤修复区域面积为 1862 平方米，修复最大深度为 15 m。原位搅喷加药从 2025 年 3 月至 5 月完成施工。经过第三方效果评估单位检测，结果显示，土壤与药剂的混合度达到 96.3%，加药之后一周内，土壤中三氯甲烷、四氯化碳的含量平均从 8.4mg/kg 和 40.1mg/kg 降至 0.38mg/kg 和 1.42mg/kg，污染物去除率达到了 95% 以上；且修复后的土壤均达到了建设用地二类用地的筛选值，搅喷修复后的地下水达到了地下水 IV 类标准限值，取得了优良的修复效果。本工程为我国第一个采用原位搅喷高效加药修复新技术的工程案例，修复效果与经济效益显著。

六、推广前景

预计未来3年随着生态环保规划的深入实施，原位搅喷高效传质修复技术装备将在修复行业加速推广应用。到2028年，技术装备在污染场地修复行业的普及率有望提升至20%~40%，年推广应用数量可达20~50套，覆盖化工、焦化、农药、电镀多个重点行业，年修复面积预计超过10万平方米。随着修复效率提升和药剂利用率提高，预计每年可实现三氯甲烷、四氯化碳等特征污染物减排总量达100~150吨，显著降低土壤与地下水污染风险。

经济效益方面将带动药剂供应、工程服务、智能控制系统等相关产业链发展，产业规模预计超过5亿元。社会和环境效益方面，技术推广将有效提升我国污染地块修复达标率，改善重点区域生态环境质量，推动绿色低碳修复产业发展，具有显著的综合效益。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：同济大学

联系人：付融冰

联系方式：13816036746

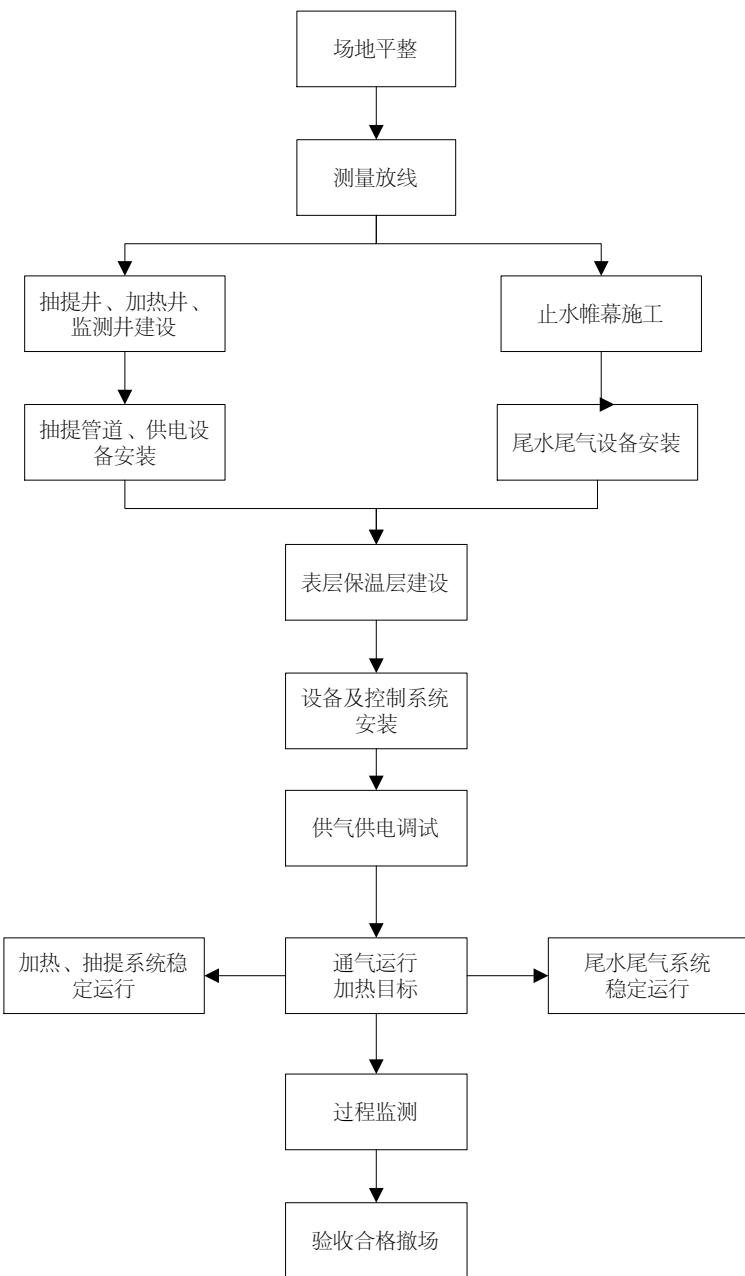
案例二：北京建工环境修复股份有限公司有机污染场地燃气加热原位热脱附技术装备

一、技术适用范围

应用于土壤修复领域，技术装备适用性：对挥发性有机物(VOCs)、半挥发性有机物(SVOCs)、石油类污染物(如汽油、柴油、重油)、农药(如DDT、有机磷农药)等均有良好去除效果，尤其对复杂污染地块(多种污染物复合、渗透性差)修复效果好。

二、技术原理及工艺

在复杂有机污染场地中，设置加热井、抽提井、尾气处理设备等，在加热井中，通入天然气或液化石油气，同时通过抽风机产生的负压将清洁空气吸入，在燃烧器内混合，点火燃烧，产生高温气体。高温气体注入加热井中，通过热传导方式加热目标修复区域，使得土壤温度升高至修复目标温度。在加热过程中，污染物从土壤中解吸出来或者发生裂解反应，此时借助抽提井将含有污染物的蒸汽提取至地表，然后进入后续的尾气治理系统，达到污染物去除的目的，最终实现达标排放。



三、技术指标

对目标污染物的去除率通常 $\geq 95\%$ ，部分工况下可达 99% 以上，经处理后的土壤可满足建设用地（如 GB 36600-2018 第二类用地标准），地下水污染物浓度可降至地下水质量标准（GB/T 14848-2017 三类水标准）。

尾气经多级处理（如冷凝 + 活性炭吸附 + 燃烧）后，二次污染风险低，符合《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）二级

标准。

四、技术特点及先进性

原位热脱附过程受到很多参数的影响，如热脱附温度、处理时间、土壤质地、热导率及热扩散率、土壤含水率以及加热井间距等对污染物脱除效率影响规律。针对复杂有机污染场地，组合了模拟计算优化设计+振动挤压成井+止水保温阻隔+高效安全尾水尾气处理设备+智能化监测自控系统，对于复杂污染场地原位燃气热脱附中出现的迫切需要解决的实际问题（管控过程二次污染，降低系统能耗，保证装置的运行稳定性，以及研发配套的安全、高效、集成化的尾水尾气处理系统）提供解决思路。

五、应用案例

中山市东区起湾北道 142 号之五至七污染地块污染土壤及地下水修复项目，项目所在地：广东省中山市，项目概况：

项目应用前，土壤中共计 10 种特征污染物，分别为：苯、1,4-二氯苯、1,2-二氯乙烷、氯仿、总石油烃、1,2-二氯苯、二氯甲烷、甲苯、铅和汞。地下水共计 5 种特征污染物，分别为：苯、氯仿、1,2-二氯乙烷、二氯甲烷、四氯化碳。

通过燃气加热原位热脱附治理技术对污染土壤和地下水进行修复，本项目有效去除了目标污染物，显著改善了项目区域的环境质量。具体而言，土壤中的苯、1,4-二氯苯、1,2-二氯乙烷、氯仿、总石油烃、1,2-二氯苯、二氯甲烷、甲苯、铅和汞等污染物浓度大幅降低（污染物去除率达到 95%以上），达到了环保标准。同时，地下水中的苯、氯仿、1,2-二氯乙烷、二氯甲烷、四氯化碳等特征污染物也得到了有效控制，水质得到明显提升，达到《地下水质量标准》（GB/T

14848-2017) 三类水标准。



六、推广前景

燃气加热原位热脱附治理技术因适用绝大部分有机污染物，无须挖掘和运输污染土壤，二次污染相对可控，对低渗透污染区、非均质污染区域具有较强的适用性和较好的修复效果等特点，在复杂有机污染场地得到了广泛应用。目前国内，燃气加热原位热脱附治理技术主要采用热传导技术原理。利用燃气燃烧为热源，通过热传导方式使

得土壤温度升高，土壤温度升高有利于污染物从土壤解吸至气相中，然后通过收集装置收集至地面进行处置。复杂有机污染场地因为污染物质复杂，污染程度高，需要采取热处理技术以确保达到修复标准，因此燃气加热是今后我国原位热脱附技术的主要应用方向。

未来三年预计产量及产值：2023 年 300000 万元，2024 年 30000 万元，2025 年 40000 万元。技术应用产生的碳减排效果：采用优化后原位燃气热脱附，耗能减少 15%，减少了燃气使用量。采用智能化安全、高效、集成化的尾水尾气处理系统，确保尾气处理效率，降低全项目周期碳排放。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：北京建工环境修复股份有限公司

联系人：陈梦巧

联系方式：18210032090

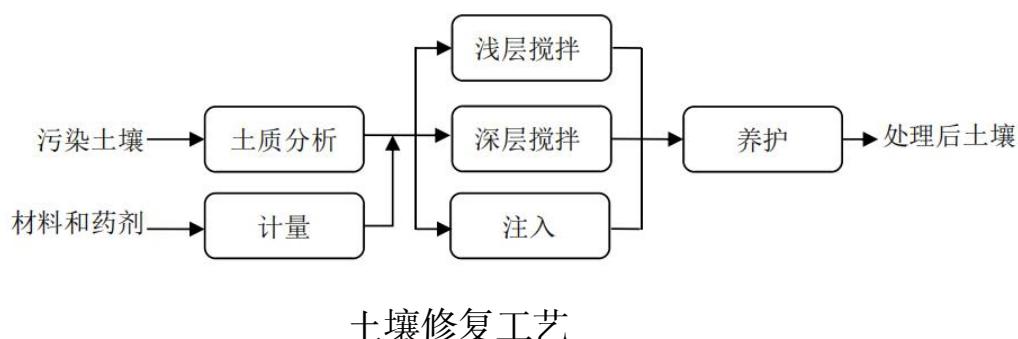
案例三：江苏省无锡探矿机械总厂有限公司土壤地下水取样修复一体式钻机

一、技术适用范围

QY-100L 系列土壤地下水取样修复一体式钻机，是江苏省无锡探矿机械总厂有限公司开发，专门应用于土壤调查及修复行业的高度集成化、自动化钻机。

二、技术原理及工艺

钻机配置的多重功能直接针对土壤调查及修复工艺的要求，填补了国内行业空白，并且在同一设备上实现了原位治理的功能，突破了国际同类设备的单一取样功能。本产品是一款具备取样和修复双重功能的土壤地下水钻机，服务于土壤和地下水原位快速取样及修复的环境设备领域，可以对目标区域快速无扰动地提取土样及快速建立地下水监测井，同时可以采用设备本身自带的修复动力头进行高压修复药剂注入，进行定点土壤修复。



三、技术指标

- a) 应把土壤中直径大于 50 mm 的石块和建筑垃圾等进行筛分，清洗后进行资源化利用，清洗废水处理后宜优先回用；
- b) 土壤中砂粒和砾粒含量较多时，宜采用减量化措施。可以采

用多级筛等设备按粒径分级除去 0.5 mm 以上的砂粒和砾粒，或 2mm 以上的砾粒；

- c) 处理的土壤量不大时，可简化筛分流程，采用筛分斗分批筛分或直接采用搅拌混合设备自带的筛分装置；
- d) 含有挥发性物质的土壤应先除去挥发性物质至修复目标值后再进行异位固化/稳定化处理。

四、技术特点及先进性

- ①满足大扭矩高频率的回转冲击一体式动力头。
- ②可自动切换的具备防腐性能的高压旋喷动力头。
- ③运输和工作状态下可自动回位的天车卷扬机构。
- ④满足提升力大于 25T，行程大于 2m 的探测架机构。
- ⑤可变位的起塔滑架结构。
- ⑥可前后滑移并带偏摆功能的机架平台。
- ⑦可安装多种动力头的安装架。
- ⑧可满足大承载力的尾部托架机构。

五、应用案例

项目名称：原场地土壤污染状况调查项目

项目概况：

（一）用户用能情况简单说明

2022 年 8 月我公司承接了红太阳桠溪中学用地土壤调查的工程。红太阳桠溪中学位于南京市高淳县桠溪镇赵村，中学原址为某化工厂，为了保证开学后学校师生的健康，对该地做土壤及地下水污染的调查。

（二）实施内容及周期

该工程需设置长期地下水检测井 8 个，土壤取样点共 32 个，总

计 500 米土样。我司使用江苏省无锡探矿机械总厂有限公司开发制造的 QY-100L 型土壤取样修复钻机，及配套的土壤取样钻具和监测井钻具，快速、低成本地完成了工程量。公司的 QY-100L 型土壤取样修复钻机结构轻巧，移动方便，功率强大，在高温环境下，快速完成建检测井及土壤取样任务。公司配套的土壤取样钻具可有效、准确地取出需要深度的土壤样本，并保证取出的土壤中无挥发性气体的泄露，无重金属、有机物对环境的污染，保证了待检测土样及地下水样的准确性。

QY-100L 型土壤取样修复钻机满足了土壤及地下水检测规范。有效地降低了施工的劳动成本，提高施工效率。



案例图片

六、推广前景

1. 争取纳入国家优先推广技术目录：包括此次申报的《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录》在内，尽可能使我们的产品纳入国家优先推广的目录。

2. 建设示范工程与标准体系：通过示范项目验证效能，协同行

业协会制定技术标准。

3.推动政产学研协同推广：联合高校设立实训基地，并与学校联动，通过博士后引进，科技副总引进等方式，进行联合研发及推广。

“政策-市场-技术”三端协同发力：以示范工程破除市场疑虑，借标准制定引领行业升级。同步深化与环保部门的合作，积极参与国家土壤详查、农用地修复等重点工程，将技术优势转化为政策认可，最终实现国产高端环保装备的规模化应用。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：江苏省无锡探矿机械总厂有限公司

联系人：曹智

联系方式：13003351880

案例四：中国石油集团安全环保技术研究院有限公司石油烃污染场地 土壤及地下水协同修复技术装备

一、技术适用范围

该技术装备适用于成品油污染场地原位土壤和地下水修复领域，广泛应用于因油罐泄漏、装置泄漏等导致的土壤、浅层地下水石油烃等污染修复，有效处理各种以自由态、吸附态、溶解态或气态等形式存在于地下水、土壤颗粒表面和孔隙内的石油烃类。

二、技术原理及工艺

本技术以两相/多相真空抽吸技术为核心，与化学氧化、原位直推注入、微生物修复等多种技术相结合，配合自动收油式浮油泵，形成了模块化、撬装化装置。主要工艺是在污染区合理布设抽吸井、监测井、压气井和加药井，利用特制的抽吸系统，将地下水、土壤颗粒表面和孔隙内存在的自由态、吸附态、溶解态或气态等石油烃污染物抽出，利用气破与气提协同技术对土壤颗粒孔隙内气态烃类和地下水溶解态烃类进行处理，并利用原位化学热洗技术、化学氧化技术和微生物修复技术，通过注入化学或生物药剂对吸附在土壤颗粒表面的烃类进一步处理，使整个污染区恢复到初始状态。

装置主要包括抽提模块、气液分离模块、尾气处理模块、配注药模块和自控模块。各模块可以独立使用，也可以通过联动组合获得更佳处理效果。其中，对于核心的抽吸模块来说，在抽吸井附近形成真空梯度，在负压作用下，抽吸井附近形成一定速度的气相流动、水相流动和 NAPLs 相流动；位于潜水面上下污染物会逐渐向抽吸井的位

置迁移，并进入井中的吸取管；真空度越高，水力梯度也就越大，气相与液相的回收率也就越高；随着各相污染物被继续回收，地下水位降低，扩大了非饱和带区域，促使饱和带中的污染物逐渐向非饱和带靠近，进而被抽吸到地面。

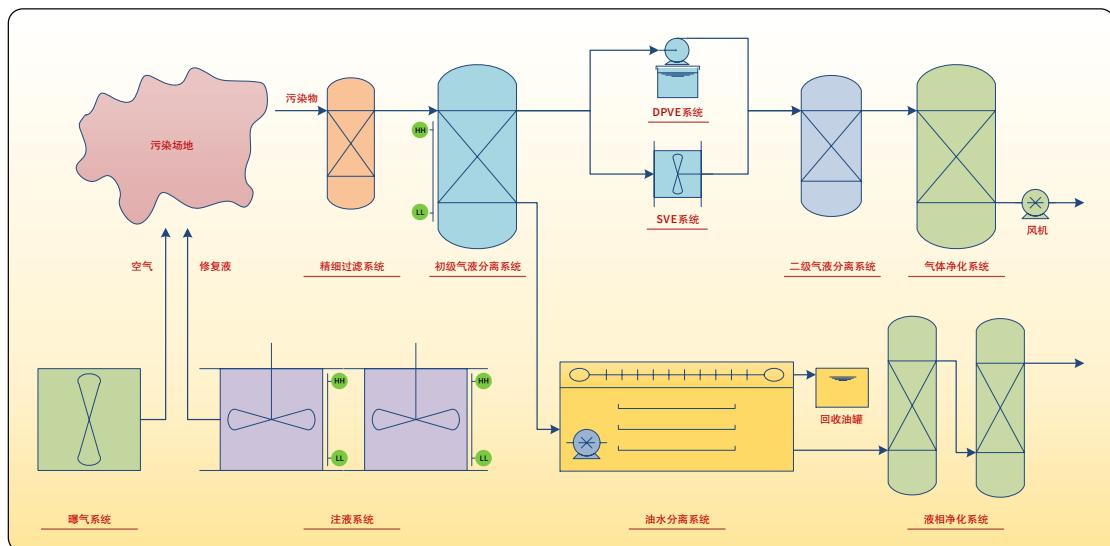


图 1 石油烃污染场地土壤地下水协同修复工艺链技术流程图

三、技术指标

单套修复装置修复面积 3000~5000m²；单口井井口抽提真空度 0.03MPa；原位直推注入压力可达 15~20MPa，低渗透土壤环境下，影响半径为 2~4 米；自由相回收系统回收范围地面以下 50m；自由相定位移除厚度 5mm；抽出液相油水比可达 1:1.5。

四、技术特点及先进性

推广性强。面对需求巨大的污染修复市场，能以完全成熟的技术链工艺，完全可靠的性能，为企业提供准确完备的修复方案和高效优质的修复装置。同时，本技术以原位修复为主，在面对修复面积较大的区域时，比之异位修复有更多的成本优势；且经工程应用表明，社

会影响小，安全风险可控，市场前景广阔。

先进性强。整套装置的抽吸真空度、深度、油品回收率和修复面积均领先于主要供应商技术水平。技术的提升也能够降低施工成本、削弱对环境二次破坏。

操作性强。本技术链工艺和装置可有效处理各种以自由态、吸附态、溶解态或气态等形式存在于地下水、土壤颗粒表面和孔隙内的石油烃类。同时，由于集成了土壤气相和液相抽提、化学氧化降解、原位注入、微生物修复等多重修复技术的工艺链，突破了单一修复技术选择性差、修复效率低的技术瓶颈，可实现不同石油石化土壤污染类型的全方位修复。

经济性强。与国内同类土壤修复技术相比，在达到相同治理效果的前提下，可节省投资约 30%~50%；维护和管理成本达到同类技术的 40%~75%；在相同的资源投入情况下，筛选最优运行方案，可节省运行费用达 20%~35%。

实用性强。解决了一直困扰修复的抽吸偏流问题，保证了现场抽吸效果；注药的时候保证每口井的均匀性；原位注入压力可达到 5-15MPa，大大增强了提升效果；同时分层注入能够针对不同注入层进行原位修复；浮油回收泵可抽吸地下 50 米的自由相，同时能够保证自由相遗留少、地下水抽吸少。

五、应用案例

项目名称：西部某成品油场地污染修复项目

项目所在地：西部某成品油场地

项目概况：随着长输管道、加油站等各类设施服役年限增加，油品泄露污染环境事件频发，石油场地污染严重已是一个不争的事实。因此，在场地污染快速精准调查、污染风险管控强化技术等方面开展系列攻关和研究，研发一套修复费用低、修复效果好、可操作性强的技术装备并开展示范应用尤为重要。

按照业主总体要求，配套技术服务人员，配套修复装置，对现场自由相和污染地下水进行回收和修复。在自由相回收的基础上，进行大范围密封真空抽吸，使土壤中的残余气体被抽出，形成区域局部真空，加快土壤中的液相汇集到井内的速度，从而有效降低土壤中的污染物含量。抽吸上来的气体经过气体净化回收装置处理达标后，排放至大气中。抽吸至地面的污染地下水，经过油水分离、化学氧化等将水处理至修复目标后回注或回用。另外，根据土壤污染程度和土质分布情况，对局部场地进行原位淋洗。

通过工程运行表明，本成果的技术和装置运行效率高、稳定性好，保证了在最低的系统运行费用的前提下实现最大程度的修复效率。经过持续高频次修复，场地核心污染面积缩小 80%以上，自由相厚度减少约 85%。80%以上的面积达到修复指标。

取多处修复后的土壤进行检测，主要测定了石油烃(C10~C40)，检测结果均小于修复目标值 4500mg/kg。



图 2 石油烃污染场地土壤地下水协同修复工艺链技术装置现场图

六、推广前景

基于全国油田企业、加油站、输油管道及关停地块的污染治理需求，预计 3 年内该技术装备在石油石化污染修复的市场渗透率将达到 10%~15%，年需求量将持续翻番。初步预计 2025~2027 年产量分别为 8 台套、15 台套和 22 台套，获得产值 0.52 亿元、0.96 亿元和 1.45 亿元。

推广后年处理能力所覆盖的污染土壤和地下水将持续增减 30~50%，实现石油烃和 VOCs 减排量以及油品资源的回收。装备的现场运行还将带动环保设备制造、运维服务等。装备应用于现场有效消除了石油类有机污染物等致癌物对周边居民的健康威胁，致癌物暴露风险降低 90% 以上，显著提升环境安全与公众健康水平。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：中国石油集团安全环保技术研究院有限公司

联系人：刘晓丹

联系方式：010-80169970

(五) 环境监测专用仪器仪表

案例一：北京兰友科技有限公司全自动土壤（沉积物）样品制备装备

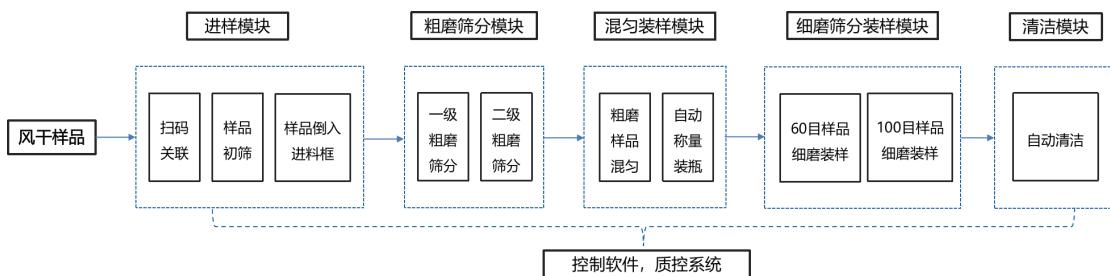
一、技术适用范围

适用于土壤生态环境监测领域，智能高效精准完成土壤粉体样品制备的领域。通过数智化升级，以机械臂替代人工操作，严格执行标准，实现低温干燥、逐级研磨、筛分、混匀、分样、称量、装样、清洁及质控等全流程的多样品、多粒径全流程自动化制样。有效解决了人工操作效率低、易误差、标准不一等痛点，实现了制样过程的标准化、溯源化与粉尘污染控制，把原有 7-10 天的制样检测周期提高 50 倍，缩短到 3 小时，显著提升了数据质量与实验室运营效率。

二、技术原理及工艺

本技术采用全自动、模块化的工艺路线，依次完成样品低温干燥、逐级研磨、标准筛分、智能混匀、十字分样、精密称量与自动装样，最终执行系统清洁与质量控制。全过程在封闭环境中由机械臂智能调度完成，实现多样品、多粒径的连续、无人化制样。

应用效果显著：单样制备时间缩短 70%，效率提升 5-8 倍；人力成本降低 60%，人为误差降低 90%以上，数据可靠性与可比性大幅提升。同时，全封闭设计有效控制了粉尘污染，改善了实验环境。



三、技术指标

干燥温度：35°C±5°C 研磨温度：<40°C；干燥效率：一批样品干燥时间≤2.5 小时；样品处理量：0.5~2kg；制样效率：10~30min/个样品；样品残留量<0.1%，交叉污染率：<0.5%；设备运行噪声： $\leq 70\text{dB}$ ；称重模块量程：0~6kg，精度 0.01g；制样粒径：2mm、0.25mm、0.15mm、0.075mm 等四种及以上；制样合格性：完成制备的样品质量控制过筛率 $\geq 95\%$ ；研磨、干燥、转运等与土壤直接接触的部件中，As Cd Co Cr Cu Mn Ni Pb V Zn Hg 等 11 种元素含量应为未检出，即不含上述 11 种元素。

四、技术特点及先进性

本技术首次实现了多样品、多粒径全流程自动化智能化制备，解决了传统制样效率低、质量低、标准化程度低，质控难、管理难、转型难等行业痛点。

本项目立足于国家生态环境监测现代化战略需求，实现了三大核心业务场景的数智化创新：

1. 创建“自动化流水线”式的制样新场景：将原本依赖个人技能的“劳动密集型”手工操作，转变为标准化的工业化生产流程，实现了业务场景从“人工操作间”到“智能产线”的转变。

2. 打造“全过程数字化溯源”的质量控制新场景：突破了传统质控依赖人工记录的被动模式，首创嵌入式质控新场景。实现了质量控制模式从“离散式、碎片化”到“嵌入式、一体化”的跨越。

3. 定义“智慧化敏捷响应”的监测业务支撑新场景：高效制样使得前处理与分析能力高效匹配。解决了大规模土壤详查、应急监测等任务中“样品积压、检测等待”的核心瓶颈，为环境管理决策提供了速度和质量的双重保障。

五、推广前景

本技术凭借其标准化、智能化与高效能优势，在环境监测、农业、国土资源等领域的推广前景广阔。预计未来3年内，年产值可达8000万元，年销售设备50套以上，覆盖全国80%以上的省级环境监测中心及第三方检测机构。通过规模化应用，预计可实现年减排粉尘1.2吨，降低碳排放约3.5吨，节约电力消耗60万千瓦时。该技术将有力推动实验室制样环节的绿色低碳转型，为行业标准化与数智化升级提供关键支撑，形成显著的经济、环境与社会效益。

六、支撑单位信息

支撑单位名称：北京兰友科技有限公司

联系人：程萍

联系方式：13581838896

案例二：深圳市环境水务集团有限公司水质检测机器人

一、技术适用范围

以“机器人+AI”构建水质检测提质增效新范式，打造行业现代化治理新模式，装备适用范围包括：市政供排水行业的全流程水质智能化检测/监测；环境水务领域的全场景水质智能化检测/监测；智慧水利/水务领域的水质检测业务数字化转型；现代化工业给排水水质检测/监测与智能控制。

二、技术原理及工艺

1、同线程多指标高效检测。通过构建同线程多指标自动化实验流程，重塑传统检测作业方式，实现检测效率数百倍提升。

2、智能精准质控溯源。融合机器视觉与RFID技术，建立可精准计量、全流程智能溯源的质量控制体系。

3、大数据AI预警预测。依托大数据与AI深度学习，构建数据解析与关联分析模型，实现多源数据互校与水质预警预测。

4、废液原位近零排放。采用低温蒸馏+电催化协同智能处理技术，实现近100%废液原位高效处理与近零排放。

三、技术指标

1、检测能力：饮用水指标同线程检测≥26项/60min，污水指标同线程检测≥16项/60min；2、分样能力：机械臂重复定位精度±0.02mm；样品识别准确度100%；分样速度≤8min/单线程（26/16项）；3、检测精度：准确度≤10%，重复性≤5%；4、耗材续航能力：试剂保质期≥2个月；单次试剂耗材更换≤30min；5、单机重量≤2500kg。

四、技术特点及先进性

针对传统水质检测效率低、难溯源、人为干扰大等问题，构建“机器人+AI”检测新范式，实现万倍级效率提升与百亿级数据探索，经中国环保机械行业协会组织、马军院士领衔专家团队鉴定，技术达到“国际领先”水平。

以多指标自动化检测实现万倍级提效，并凭借机器视觉与RFID构建了全流程智能溯源体系，结合AI预警预测与废液原位处理技术，达成了精准预警与绿色近零排放。已通过万小时连续稳定运行测试，获欧盟CE及国家级认证，较传统方式节能86%、效率提升75%、占地减少82%。依托“技术研发-场景验证-产业协同”机制，已在超大城市供排水厂站规模化应用，并已成功出海，完成产品销售合同，为推动高端仪表国产化、提升我国环境装备全球竞争力提供了关键支撑。

五、应用案例

（一）应用案例一

项目名称：以水质检测机器人为核心构建区域智能物联水质监测体系

项目所在地：深圳市龙岗区

项目概况：本项目位于广东省深圳市东部地区，是为实现2025年深圳市自来水可直饮工作而构建的现代化物联水质监测/检测体系。该体系在保障居民用水安全以推进直饮目标实现的同时，也服务于区域内500万户的整体用水安全，包括保障中国工业百强区榜首——深圳市龙岗区的工业用水安全，涵盖多家千亿级企业在内的工业用户。

在传统“三级检测”要求框架基础上，项目创新性地以水质检测机器人为核心装备，集成无人机采样和物联水质管控区域调度平台，构建起智能化监测/检测网络，建立“集中+快检”工作模式。依托“机器人+AI”融合应用，检测能力提升超100倍，一级检测（生产指导）和二级检测（水质监督）全部由机器人完成，三级检测（质量监督）采用“机器人+大型仪器”组合，显著提升从源头到龙头的全流程水质监管能力，有效解决了该区域检测需求来源多、点位散，以及检测人员少、效率低、检测能力不足、难以集群化管控的现状问题，从而全面保障用户和工业的用水安全。

作为区域市政供排水行业的全流程水质智能化检测/监测的典型案例，其成功经验正在粤港澳大湾区推广应用，为全国供水水质提升提供可复制的技术方案。



图1 水质检测机器人产品外观



图 2 水质检测机器人应用实景 图 3 水质检测机器人管控平台

六、推广前景

简要描述推广前景，不超过 300 字，尽量包含未来 3 年内可实现的年产值、年销售量、主要污染物年减排量等信息。

作为水环境检测领域科技创新与产业升级的典范，水质检测机器人已完成在超大城市供排水厂站规模化部署应用，并成功实现海外市场突破，充分验证了其技术先进性与商业可行性。预计未来三年，将实现销售量超百台，创造亿元级直接经济效益，形成覆盖"厂-网-河-湖-海"全域的智能监测网络。通过大规模推广应用，该装备将引领行业运营模式革新，在检测效率、能源资源消耗、人力与场地配置等关键运营指标上实现 30%-80% 的系统性优化提升。项目的持续推广，不仅是推动高端仪表国产化、夺取国际市场份额的商业成功，更是提升我国环境装备全球竞争力、保障国家水安全战略的关键支撑。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：深圳市环境水务集团有限公司

联系人：李婷

联系方式：13560767387

案例三：浙江埃泰克环境科技有限公司大气监测不锈钢硅烷化钝化技术装备

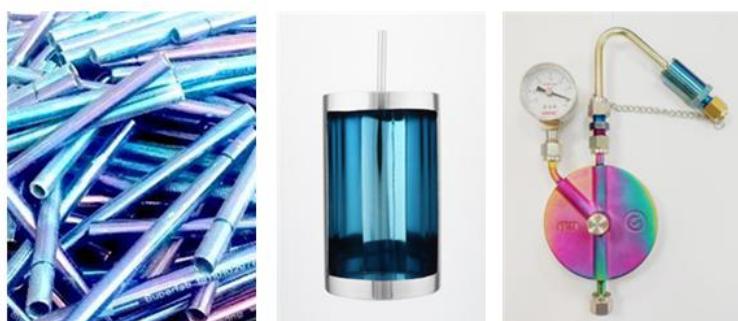
一、技术适用范围

本技术装备适用于大气质量监测设备、标气存储设备钝化(工业)，可使气体样品长时间有效存储设备内，气体的回收率为 80%~120%。

二、技术原理及工艺

浙江埃泰克环境科技有限公司生产的大气监测不锈钢硅烷化钝化技术装备的气路接触面均进行了惰性硅烷化技术处理。惰性硅烷化是一种不锈钢表面钝化技术，就是在不锈钢的表面涂覆一层纳米级钝化玻璃材料，使表面从金属转为非金属，从而满足某些特殊领域的应用要求。

对挥发性有机物(VOCs)而言，惰性硅烷化处理能有效地减少不锈钢表面对 VOCs 的吸附和催化作用，使分析精准。因此在 VOCs 监测中，美国 EPA 和中国生态环境部都推荐使用经惰性硅烷化处理的采样和分析器材和设备，比如苏玛罐、限流阀、吸附采样管及各种仪器设备(比如预浓缩仪、稀释仪等)中使用的不锈钢管材、接头和阀门等等。



三、技术指标

挥发性有机物 (VOCs) 吸附率≤0.1%; VOCs 残留浓度≤0.2 ppt。。

四、技术特点及先进性

该技术装备首次实现国产化，相关技术已获得国家授权发明专利。

(1) 打破国外对 VOCs 专用设备的垄断，填补国内空白，实现十多个产品的国产化和产业化。

(2) 浙江埃泰克环境科技有限公司的大气监测不锈钢硅烷化钝化技术装备及配套产品，经浙江大学理化检测实验室测定，对 VOCs 的吸附率低于 1%，优于国外产品的低于 5%。惰性功能指标领先全球。

(3) 耐酸性。惰性硅烷化镀层具有很强的耐酸腐蚀性。初步测试表明，316L 的不锈钢工件，镀膜后与镀膜前相比，在 6M 的盐酸中被腐蚀的速率可减慢 20 到 50 倍。

(4) 不易脱落性。惰性硅烷化镀层直接以化学键合的方式沉积在工件表面，膜层致密，和基体结合牢固，厚度为纳米级，一般在 40~150 nm 之间。这样薄度可保证工件(如不锈钢管)在弯折时镀膜不会脱落，也不会因为工件热胀冷缩而脱落。

(5) 覆盖完全性。惰性硅烷化过程采用的是真空气相沉积技术，凡是反应气体能到达的部位，均能生成镀膜。因此，镀膜能覆盖工件的所有表面，包括一些机械喷涂难以实现的部位，比如微细的表面刮痕和工件凹槽处。

表面光滑性。微细凹痕处的表面反应面积比光滑处相对要大一些，因此惰性硅层能优先沉积于工件的微细凹痕处，从而提高工件表面的光滑度。在显微镜下，可以很好的观察到这一填平效果。

五、应用案例

客户：香港科技大学（广州）

案例概况：香港科技大学（广州）是国内知名高校，多年来一直采购进口的不锈钢硅烷化钝化装备，其中苏玛罐产品均价为 1 万元/个，成本较高。自 2025 年起，香港科技大学（广州）开始购买本公司生产的不锈钢硅烷化钝化装备，苏玛罐产品均价为 0.4 万元/个，成本降低了 60%。经过 2 个月的测试使用发现，埃泰克生产的苏玛罐可以稳定存储 PAMS 和 TO-15 的标气，PAMS 和 TO-15 标气各组分吸附率小于 0.1%，检测指标优于进口产品，完全满足国家 VOCs 气体检测要求。

六、推广前景

臭氧超标是全球空气污染的难题。世界上发达地区如美国洛杉矶和英国伦敦等无一例外均受臭氧污染所困。发展中地区，如我国北京和巴西圣保罗等臭氧污染更是严重，并且还持上升趋势。

挥发性有机物（VOCs）为造成臭氧污染的前驱物，监测和治理刻不容缓。苏玛罐为 VOCs 监测采样的必需设备，在 2016 年底我司推出国产替代品之前，我国每年从美国进口 1 万多只，金额超亿元。2017 年，我国 VOCs 监测开始起步，苏玛罐市场需求迅速上升，目前已达每年 4 万只左右。随着国家政策把 VOCs 监测常规化，苏玛罐的需求还将长期稳定增长。

海外市场对苏玛罐也是需求强劲，目前每年超过 10 万只，并且迅速增长中。加上配套的清罐仪、限流阀、定时采样器等 VOCs 采样设备，全球市场规模估计每年百亿以上。。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：浙江埃泰克环境科技有限公司

联系人：程明超

联系方式：19957125504

案例四：中节能数字科技有限公司大气细颗粒物有机碳元素碳在线分析仪

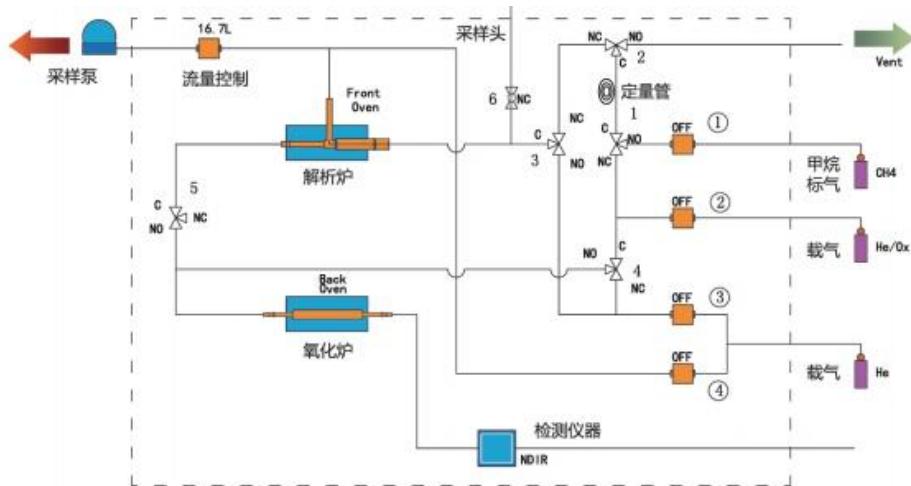
一、技术适用范围

适用于生态环境中针对大气细颗粒物化学成分监测、大气污染溯源分析等相关领域细颗粒物($PM_{2.5}$)中有机碳(OC)与元素碳(EC)的定量分析，如环境空气质量监测(大气污染物来源解析，区域联防联控管理)；科研与学术研究(大气化学过程研究，健康效应关联研究)；污染源排放监控(移动污染源与面源监测分析)；特殊场景与专项应用(沙尘暴与跨境污染追踪，碳足迹与碳中和研究，公共场所室内空气质量评估)等。

二、技术原理及工艺

采用热光透射法对大气细颗粒物中的OCEC进行测定，用恒定的流速把待测颗粒物采集到石英滤膜上；承载气溶胶样品的石英滤膜首先在He气的非氧化环境中逐级升温，致使有机碳被加热挥发(该过程中也有部分有机碳被炭化，即热解碳)；此后样品又在氦气/氧气混和气(He/O₂)环境中逐级升温，该过程中元素碳被氧化分解为气态氧化物。这两个步骤中所产生的分解产物都随着通过分析室的载气(同时也是环境气及反应气，亦即He或He/O₂)经过二氧化锰(MnO₂)氧化炉被转化为CO₂后，由NDIR探测器定量检测。整个过程中都有一束激光照在石英膜上，这样在有机碳炭化时该激光的透射光的强度会逐渐减弱，而在He切换成He/O₂并加温时、随着热解碳和元素碳的氧化分解该激光之透射光会逐渐增强。当透射光的强度恢复到起始

强度时，这一时刻就定义为 OCEC 的分割点，亦即该时刻之前检测到的碳量就定义为起始时的有机碳，而其后检测到的碳量则对应于起始时的元素碳。



OCEC 分析仪工作原理示意图

三、技术指标

检出限 $0.12\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；仪器空白 $0.12\mu\text{g}$ ；系统空白 $0.17\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；精密度 0.5%；正确度 0.6%；三峰测试相对标准偏差 1%。

四、技术特点及先进性

大气细颗粒物有机碳元素碳在线监测仪：攻克了激光温度补偿技术、高温控制技术、高效 CO₂ 转化技术、高灵敏度 NDIR 检测技术、双光束滤膜透射补偿技术；发明专利 3 项、实用新型专利 3 项、论文 3 篇、软著 1 项、关键部件 2 项。

高灵敏度与精准度

检测下限低：可精确测量大气细颗粒物（如 PM2.5）中痕量有机碳（OC）和元素碳（EC），检测限通常达 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 级别，满足超痕量分析需求。

抗干扰能力强：采用热光法技术，通过优化升温程序和催化条件，

分离 OC/EC 时避免挥发性有机物干扰，确保碳组分定量准确。

校准技术先进：内置标准物质自动校准模块（如蔗糖），结合动态空白扣除，减少长期运行中的基线漂移。

实时在线监测与快速响应

分钟级数据输出：支持连续自动采样，快速完成样品分析，满足实时污染溯源需求。

动态追踪能力：可捕捉大气碳组分的瞬时变化（如早晚高峰机动车排放、工业源突发泄漏），为区域污染预警提供及时数据支撑。

高稳定性与低维护成本

抗环境干扰：具备恒温恒湿控制系统，适应复杂环境（如高湿度、沙尘天气），减少颗粒物吸湿或沉积对检测的影响。

智能化运维：自动诊断仪器故障（如载气压力异常、炉温波动），支持远程监控，降低人工维护频率；耗材更换周期长（如催化管寿命可达 6 个月以上）。

五、应用案例

项目名称：中国环境监测总站国家大气颗粒物组分-光化学监测网建设项目

项目概况：中国环境监测总站国家大气颗粒物组分-光化学监测网建设项目，依据国务院《大气污染防治行动计划》和国家《生态环境监测网络建设方案》，于 2016 年 10 月正式实施，实现空气监测从质量浓度监测到化学成分监测的跨越。

项目围绕 PM_{2.5} 与臭氧协同控制、重污染应急防控需求，构建由大气颗粒物组分监测网和光化学监测网组成的监测体系，采用手工与自动结合的监测方式。分阶段推进建设，2016~2017 年重点覆盖京

津冀区域（2+26）城市；2018年扩展至京津冀及周边、长三角及周边等四大地区；2019~2020年延伸至全国重点地区，远期规划建成287个手工监测站和137个自动监测站。监测内容聚焦大气颗粒物及光化学主要成分，涵盖PM_{2.5}质量浓度、无机元素等关键指标。

在国家大气颗粒物组分-光化学监测网建设项目里，OCEC（有机碳-元素碳）监测至关重要。大气中的OC与EC，是大气颗粒物的关键构成部分，一般占PM_{2.5}浓度的20%~60%，中节能数字科技有限公司的TR20N9型大气细颗粒物有机碳元素碳在线分析仪能实现对大气中OCEC展开定量分析，为解析大气污染成因给予关键数据支撑。

项目实施后成效显著，在京津冀及周边区域采集大量样品滤膜，获取海量监测数据并形成研究成果，为区域污染防治提供有力支撑。

六、推广前景

在大气环境监测领域，随着对空气质量要求的不断提高，以及相关政策的推动，OCEC设备在大气环境监测中的应用将更加广泛。在重点区域和城市，其普及率可能会达到较高水平，预计在主要的空气质量监测站点以及工业密集区，普及率能达到70%-80%左右。

同时，随着OCEC设备需求的增加，扩大生产规模，降低单位生产成本，但同时技术的升级和功能的完善也可能使部分高端设备的价格有所上升。综合考虑，预计未来3年行业内用于OCEC设备采购的总投入将达亿元级别。

通过准确监测空气中的有机碳和元素碳含量，为污染治理提供精准数据支持，有助于制定更有效的减排措施。预计可使大气中PM_{2.5}

和 PM₁₀ 等颗粒物中的碳组分排放量减少 20%~30%。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：中节能数字科技有限公司

联系人：王雪召

联系方式：15810304363

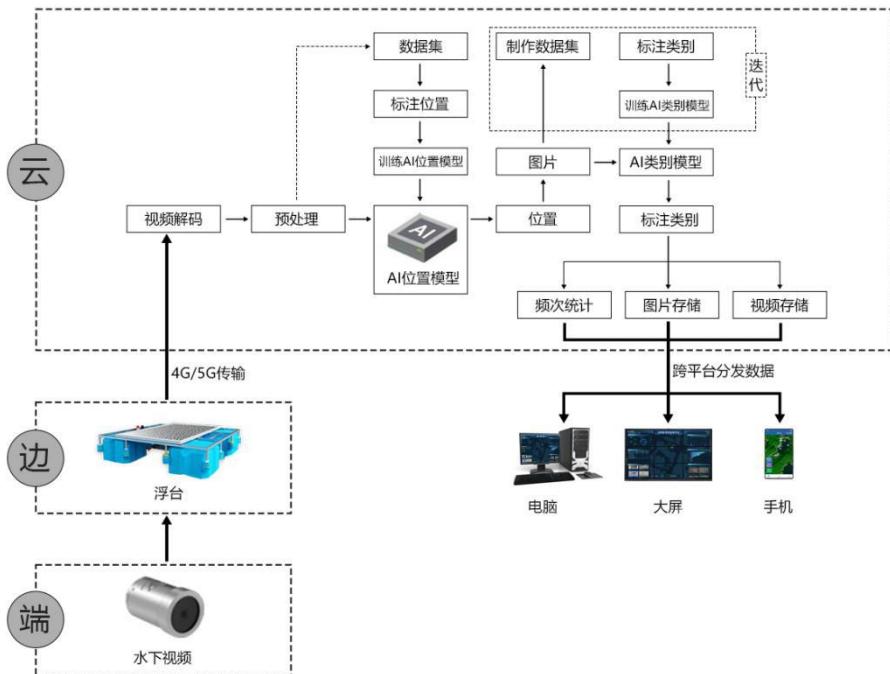
案例五：河北先河环保科技股份有限公司水下鱼类多样性智能监测系统

一、技术适用范围

适用于水生态环境监测及自然水域鱼类资源普查和长期动态监测，能够实现水下鱼类鱼种识别和频次统计。

二、技术原理及工艺

水下摄像机通过泛化光源补光，获取到较为清晰的水下视频，经过 4G/5G 无线网络传输至云端服务器，云端服务器完成视频预处理后进入 AI 识别阶段，识别结果为属种名称和对应的裁切后的鱼类图片，同时记录该鱼种出现的时间并更新频次数据库。鱼类图片自动保存至图片库，有鱼视频自动保存至视频库。所有分析结果可供用户实时查询。



工艺流程图

三、技术指标

监测水深 $\leq 50\text{m}$, 设备功耗 $< 20\text{W}$, 识鱼种类 ≥ 50 种, 综合识别准确率 $> 95\%$, 鱼体长度 $\geq 10\text{cm}$, 识别速度 ≥ 25 帧/s, GIS 定位（支持北斗卫星定位）误差 $< 10\text{m}$, 平均无故障时间 $\geq 100\text{d}$ 。

四、技术特点及先进性

水下鱼类多样性智能监测系统基于云边端技术框架设计, 采用 B/S 架构, 支持 WEB 访问, 实现跨平台应用。创新性地采用光源泛化技术, 通过优化光源的空间分布, 保留了细粒度的图像细节, 减轻水下光斑噪声的影响, 为后续基于机器视觉的鱼类识别鉴定提供了高保真的视频图像数据集。本系统对鱼类识别流程进行了深度优化重构, 将其拆分为两个独立且相互协同的模块: 鱼类检测和鱼类分类。在鱼类检测模块, 我们创新性地采用了一种基于少量样本学习的策略, 训练完成后, 检测模块具有高度的自适应性和泛化能力, 无需频繁进行更新迭代。这一设计大幅削减了人力成本, 降低了项目的资源消耗。随着 AI 识别算法的持续运行, 积累的海量鱼类视频图像数据集基于鱼类检测模块进行筛选, 确保输入分类模型的图像可用性与辨识度。基于增量学习策略, 新产生的数据快速融合并更新模型参数, 提高物种识别精度。这种渐进式的学习与优化模式, 使本系统能够动态适应鱼类种群的变化, 为鱼类识别提供了一种高效、灵活且可持续发展的解决方案。

五、应用案例

项目名称: 河北省白洋淀库区鱼类自动监测技术服务项目。

项目概况: 项目采用一套水下鱼类多样性智能监测系统, 自 2024 年 6 月 12 日开始部署, 历经烧车淀、鄚丁淀、南刘庄、枣林庄、光淀张庄、圈头、采蒲台和端村共 8 个点位轮测, 每个点位摸底监测周期 7~14 天, 最后根据点位鱼情和水质透明度确定光淀张庄为长期监测点位。经过一年的连续监测共发现鳑鲏、鱲、乌鳢、黄颡鱼、麦穗鱼、鲫、黄黝鱼、翘嘴鲌、草金鱼、青鳉、鲤、鮈共 12 种鱼类, 绝大多的鱼种个体偏小, 体长不超过 15 公分, 黄颡鱼能达到 20 公分, 乌鳢、鲤、鮈超过 30 公分。水下鱼类多样性智能监测系统共累积识别归档鱼类图片 900 余万张, 存储有效视频数据 1.2TB。



河北省白洋淀库区鱼类自动监测项目主界面



河北省白洋淀库区浮台现场部署

六、推广前景

随着长江十年禁渔政策的实施，鱼类种群恢复成果的不断显现，预计 3 年后监测系统普及率会更高。按照长江流域面积 180 万平方公里，每 2000 平方公里配置一套的标准，并按流域面积推广到全国估算，市场容量可达约 1800 套，单套投资成本约 50 万元，共计 9 亿元，市场前景广阔。该系统的广泛应用将大力提升业务部门水生态环境综合监管和评估能力，推动水生态环境质量持续改善。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：河北先河环保科技股份有限公司

联系人：屈晓虎

联系方式：17731115819

(六) 环境污染防治专用材料与药剂

案例一：北京予知环保科技有限公司高活性钙基粉状脱硫剂

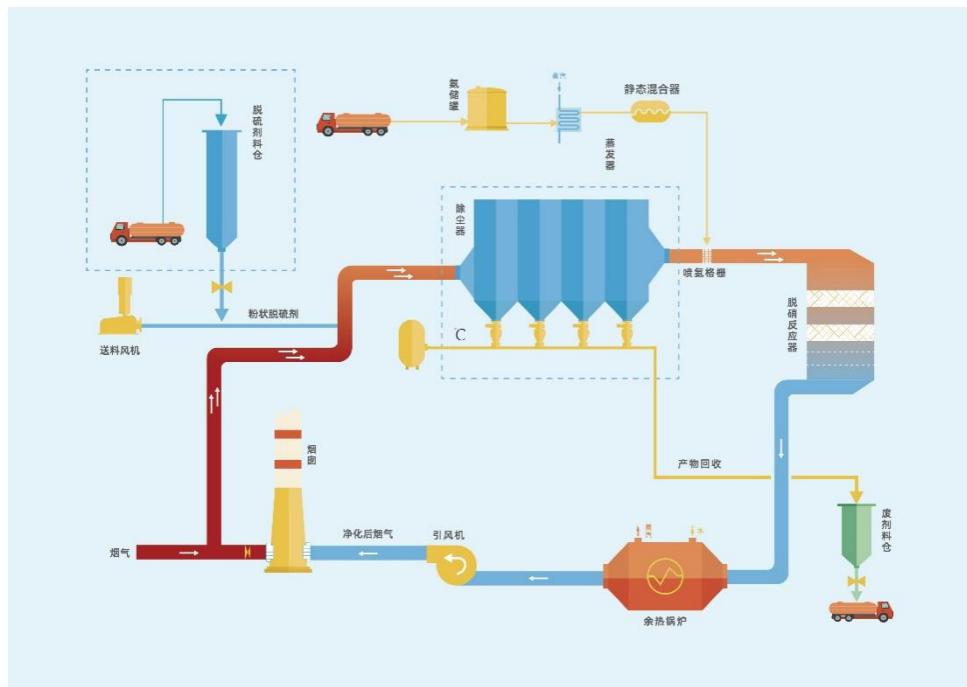
一、技术适用范围

适用于焦化、钢铁、工业硅、耐材、垃圾发电、生物质锅炉、玻璃、陶瓷等非电行业烟气的脱硫净化处理。

二、技术原理及工艺

以高比表面积 ($\geq 40\text{m}^2/\text{g}$) 氢氧化钙为主要组分，通过控制反应过程和微观粒子形貌，形成表面疏松、内部多孔（孔径在 $2\text{nm}\sim 50\text{nm}$ ）的细小颗粒，具有更多与 SO_2 气体接触的活性位点，在脱硫过程中，即使脱硫剂颗粒表面被脱硫副产物包裹，仍可以利用其丰富的孔道结构，使 SO_2 气体进入其中，与颗粒内部的氢氧化钙进行接触，从而进行持续性脱酸反应，整体表现出更高的脱除效率、更高的钙利用率、以及更低的用量，同时脱硫副产物已实现资源化利用。

现场无需研磨加工，搭配除尘设备使用，脱硫效率可高达 99% 以上，同时实现高效除尘。脱硫除尘后的烟气进入 SCR 脱硝反应器，以氨为还原剂，实现低温低硫条件下的高效脱硝。脱硫脱硝除尘后的净烟气还可以进行余热回收。



工艺流程图

三、技术指标

比表面积 $\geq 40\text{m}^2/\text{g}$; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量 $\geq 85\%$; 干燥减量 $\leq 1\%$; 筛余物(0.045mm 试验筛) $\leq 5\%$; 松装密度: $0.30\text{g}/\text{cm}^3\sim 0.60\text{g}/\text{cm}^3$; SO_2 脱除效率 $\geq 95\%$; 烟气温度宜为: $30^\circ\text{C}\sim 350^\circ\text{C}$; 粉状脱硫副产物可资源化利用, 不产生固废等二次污染。

四、技术特点及先进性

高活性钙基粉状脱硫剂系列产品填补了国内高比表面积、高活性氢氧化钙脱硫剂的空白, 可以匹配各种中低硫、中低温烟气脱硫等不同工况, 满足不同行业脱硫需求, 减少脱硫剂用量(比传统工艺节省30%-50%)和降低飞灰处理成本, 同时实现全干态、无废水排放, 开创了非电行业高效钙基干法脱硫产业化的先河, 技术装备创新水平处于国内领先、国际先进水平。

五、应用案例

项目名称: 1#~6#焦炉烟道气+出焦烟气新增钙基脱硫装置改造项

目。

项目概况：

(一) 用户用能情况简单说明

项目应用高活性钙基粉状脱硫工艺替代钠基脱硫工艺，投资规模：总投资 300 万元，焦炭产能 435 万吨/年。单套钙基脱硫装置设计规模：焦炉烟气处理量 42 万 Nm³/h，出焦烟气处理量 24 万 Nm³/h。

项目应用前：单套钠基脱硫装置运行费 382.0 万元/年，其中脱硫剂费用为 323.7 万元/年，磨机电耗 38.5 万元/年，废剂处理费 14.8 万元/年，人工费 5.0 万元/年。折算吨焦运行费 2.6 元/吨焦，折算烟气处理费 14.7 元/(万 Nm³/h)。

项目应用后：单套钙基脱硫装置年运行费 160.5 万元/年，节约运行费用 221.5 万元/年，其中脱硫剂成本节约 167.4 万元，废剂处理节约 14.8 万元，人工及电耗费用节约 39.3 万元。其他费用节约 22.7 万元，折算吨焦运行费 1.1 元/吨焦，折算烟气处理费 6.2 元/(万 Nm³/h)。

(二) 实施内容及周期

1.采用高活性钙基粉状脱硫工艺代替钠基脱硫工艺，彻底解决了脱硫副产物固废处置难题；

2.采用罐车输送、无需研磨的给料方式，减少了人工投入，节约了磨粉设备的投资、电耗及维护成本，解决了高投入、现场清洁、扬尘问题。实施周期 3 个月。

六、推广前景

自 2021 年产业化应用以来，高活性钙基粉状脱硫剂已广泛应用于钢铁企业的热风炉、加热炉、发电锅炉，焦化企业的焦炉烟道气、地面除尘站、干熄焦环境除尘尾气，耐火材料、玻璃、陶瓷的窑炉尾

气，工业硅烟气等多行业多场景，实现了低成本深度脱硫。截至目前，已新建或改造装置近 300 套，服务客户 196 家，累计销售产品超 100 万吨，实现销售额超过 11 亿元，累计 SO₂ 减排约 40 万吨。预计 3 年后，SO₂ 减排总量可达 80 万吨/年，具有显著的社会效益。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：北京予知环保科技有限公司

联系人：李红

联系方式：13910190463

电子邮箱：lihong@yuzhihuanbao.com

(七) 噪声与振动控制

案例一：广州声博士技术股份有限公司隔声降噪多功能静音舱

一、技术适用范围

适用于为企业、科研院所、教育、部队、医疗、家庭等生产、生活、高端制造领域提供隔声降噪静音空间。

二、技术原理及工艺

采用碳纳米管降噪、石墨烯吸声等复合新材料，融合高端新材料、主动降噪、声学物理结构等技术，通过声纹分析、噪声智能检测、自适应声掩蔽、语音私密性提升等，解决了隔声降噪静音问题。具有轻量化、模组化、移动式等优点。



隔声降噪多功能静音舱

三、技术指标

静音舱最大隔声量：NIC≥40dB；静音舱室内噪声级（10min 等效声级）：≤35.9dB；静音舱室内空气环境：甲醛（mg/m³）≤0.02（达到 GB/T 18883-2002 标准要求：≤0.10）；苯（mg/m³）ND（即未检

出；达到 GB/T 18883-2002 标准要求： ≤ 0.11 ）；TVOC (mg/m³) 0.003 (达到 GB/T 18883-2002 标准要求： ≤ 0.60 ）。

四、技术特点及先进性

采用高密度隔声板、阻尼层、隔声层、吸声材料以及隔音毡等多层复合结构，与主动降噪技术协同工作，形成高效的隔声屏障，舱体最大隔声量超 40dB，可有效隔绝外界噪声的侵扰，确保舱内环境的私密性和安静度。采用模块化构件设计，结构单元可快速拼装、拆卸和重构，大大降低了安装成本和时间成本，只需简单的操作即可快速部署一个独立的隔音空间。

声博士静音舱不仅具备高性能隔声能力，还集成了空气净化、静音通风、智能照明、应急报警等多项辅助功能，人机协同优化用户体验，为用户提供舒适、安全的人机交互环境。

五、应用案例

项目名称：华为工作静音舱

项目所在地：深圳市

项目概况：

华为技术有限公司作为全球领先的通信科技企业，对于提高工作效率和环境保护极为重视，华为在办公研发区域大量采购了声博士静音舱。每台静音舱的投资成本因型号、规格、材质等因素而异，通常根据实际需求其造价在 1 到 5 万元不等，包括静音舱的设计、制造、运输、安装以及后期维护等费用。

声博士静音舱应用于华为的隔声会议室、生产测试作业舱、办公空间、实验室、公共空间以及华为学校的课堂辅导室、图书馆等，最大隔声量超 40dB，创造安静、舒适、灵活的工作环境，满足了静音

需求，提升了专注力和工作效率。



办公静音舱

六、推广前景

目前，我国噪声与振动控制产业市场正由被动市场逐渐向主动市场转变，科研、生产、办公、生活等领域对噪声问题越来越重视。预计未来三年，在大型企业与科研机构中，静音舱的部署密度将显著上升，保守估计其普及率将达40%以上，而中小企业等的普及率也将达20%左右。

若以静音舱市场均价2万元至5万元/台计，全国年均新增5至8万台，总产值可达10亿元以上，考虑分期采购、批量租赁、定制维护等配套服务市场同步发展，整个产业链产值有望进一步扩大。

若三年累计部署静音舱10万台，每台每年节省碳排放约300kg CO₂e，则三年内减排总量可达到30,000吨CO₂e，具有重要的环保与社会价值。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：广州声博士技术股份有限公司

联系人：陈达开

联系方式：020-34699061, info@soundbox.hk

(八) 环境污染防治设备专用零部件

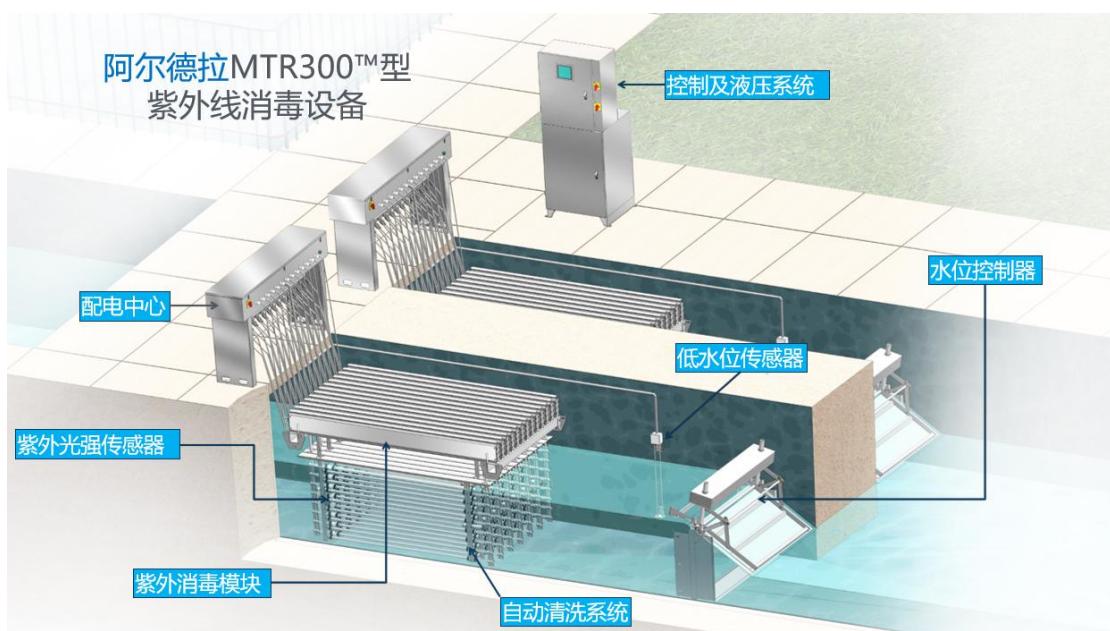
案例一：阿尔德拉科技（深圳）有限公司污废水明渠式紫外线消毒设备

一、技术适用范围

适用于市政污水处理、工业废水处理等领域，尤其是对水生态保护要求较高的区域。该技术采用纯物理消毒方式，不会向水体中排放化学药剂，避免二次污染。

二、技术原理及工艺

阿尔德拉 MTR300 明渠水平式紫外线消毒系统，以 253.7nm 紫外线破坏微生物 DNA 实现消毒，配低压高强紫外汞齐灯，可依流量、水质实时调输出优化能耗。还设紫外强度监测、低水位保护、机械加化学同步在线自动清洗、镇流器中控一体柜等，适配流量波动大、复杂水体，高效稳定且无二次污染。



三、技术指标

紫外线有效剂量 $\geq 20\text{mJ/cm}^2$; 单支灯管功率 250W; 渠道流速控制范围 0.3-1.0m/s; 每日自动清洗 1-2 次; 紫外灯寿命不低于 12000 小时; 电光转换效率 $\geq 44.2\%$; 产品防护等级水下 IP68、水上 IP67; 镇流器功率可在 50%-100% 范围内无级调节; 粪大肠菌群灭活率 $\geq 99.99\%$, 出水水质稳定达到地表水准IV类及以上标准。

四、技术特点及先进性

MTR300 明渠式紫外消毒设备创新集成低压高能固态汞合金灯、流线型模块结构与内外磁力活塞驱动的机械加化学在线清洗系统, 实现全自动清洗, 突破紧凑空间适配难题。相较同类产品, 灯管寿命提升近 20%, 能耗降低 20%-30%; 模块化设计减少设备占地与灯管用量, 免配清洗池与冷却设施, 降低初投资与运维成本。紫外线有效剂量 $\geq 20\text{mJ/cm}^2$, 微生物灭活率 $>99.9\%$, 年维护成本降低 30%以上。

五、应用案例

项目名称: “MTR300 明渠式紫外消毒系统”项目

项目所在地: 辽宁省沈阳市

(一)项目概况

项目应用前, 采用氯消毒工艺, 存在化学品储存运输风险, 且在低温季节消毒效率不稳定, 出水粪大肠菌群偶有超标。

项目应用后, 系统在-20°C极端低温环境下仍保持稳定运行, 紫外线有效剂量 $\geq 20\text{mJ/cm}^2$, 粪大肠菌群灭活率 $\geq 99.99\%$, 出水水质稳定达到一级 A 标准; 实现零化学药剂添加, 无化学残留的消毒方式, 使尾水具备直接回用于生态补水的条件。紫外线消毒工艺每年为该项目节电超 350 万度, 年减排二氧化碳约 2300 吨, 每年减少次氯酸钠投加 1500 吨。

(二) 实施内容及周期

采用阿尔德拉 MTR300 明渠紫外线消毒系统替代传统氯消毒方式，在-20°C低温工况下实现粪大肠菌群去除率 $\geq 99.99\%$ ，彻底解决了寒冷地区紫外消毒效率低、次氯酸钠消毒有化学残留及生态危害的问题；

通过标准化紫外模块配置与智能调控系统，替代原需设置的氯接触池、氯生成或者储存间和氯投加系统等整套占地大、受气温且生态不友好的氯消毒装置。实施周期月 4~8 个月。



六、推广前景

紫外消毒设备推广前景广阔。当前国内市政污水厂新建项目采用率已达 67%，预计未来 3 年（2028 年）重点区域新建/改建水厂普及率超 50%，珠三角、长江经济带、京津冀等区域可达 60%。

市场规模方面，以 10 万吨/日处理规模单厂投资 850 万元测算，3 年内新增市场规模将破 120 亿元，叠加改造需求总投入超 200 亿元。

环境效益显著，3 年后全国 1500 座污水厂采用该技术，年减少次氯酸钠超 10 万吨，削减消毒副产物风险；年碳减排 8-10 万吨，等效种 440 万棵冷杉固碳量。

经济效益可观，单设备投资回收期 4-7 年，3 年后全行业年节约运营成本超 9 亿元，再生水回用年增经济价值超 50 亿元，社会效益亦十分突出。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：阿尔德拉科技（深圳）有限公司

联系人：马传苹

联系方式：18911700939

案例二：森诺科技有限公司超空化密闭气浮装置

一、技术适用范围

- 1、含聚水、稠油水、页岩油采出水等难达标水的水质提升。
- 2、老站扩容改造，利旧老罐提升处理规模，不新增占地。
- 3、老站流程简化，一级替代多级，流程优化简化，简化管理。
- 4、老站减药、减泥，增大水中原油回收，降本增效。
- 5、老站水处理系统密闭改造，解决 VOCs 问题。
- 6、小站就地分水、就地处理，简洁高效，整站橇装化。
- 7、海上平台、城中油田或站场空间紧张的站场，以小占地实现高效处理。

二、技术原理及工艺

超空化密闭气浮装置是利用超空化、水力空化原理增加乳化油破乳效果，同时实现溶解气体循环利用的密闭气浮装置。

本技术的核心设备为超空化微气泡发生器，设置超空化管，通入气体(设备自气体循环)，饱和溶气水一路与采出水混合，一路进入二级气浮室。

与饱和溶气水混合后的采出水进入罐后先经过空化器，产生水力空化作用，使采出水中的乳化油珠在气泡合并、破灭的过程中破乳。破乳后的油滴与气泡相混合，形成气浮体，上升至水面，使采出水中的乳化油去除，在设备内完成两级气浮。

一级气浮和二级气浮分离出的油滴在水面上被罐内的收油装置收集；气进行循环使用；污泥沉降在罐底的排泥管中，被收集后排出。

三、技术指标

在不改变已建大罐容积的前提下，采用本技术改造后能使大罐处理能力提高 50%。本装置提高破乳效果(含油去除率可提高 30%~50%)，降低加药量。处理效果优于设计指标，进水水质：含油量 $\leq 1000\text{mg/L}$ 、悬浮固体含量 $\leq 100\text{mg/L}$ ；出水水质：含油量 $\leq 20\text{mg/L}$ 、悬浮固体含量 $\leq 15\text{mg/L}$ ，停留时间 1~2h。同时实现全密闭、氮气循环，节能降耗，避免 VOCs 污染。

四、技术特点及先进性

1、超空化密闭气浮装置(罐式)

(1) 省投资：充分利旧已有大罐，使已有固定资产增值，一套替代多级设备，大大减少固定资产投资。

(2) 降成本：空化增强药剂混合及破乳，气浮强化除油，除油率提高 30%~50%，降药剂 20%~40%；智能化，少人值守，减人工。

(3) 扩容：在不改变原有大罐容积的前提下，使大罐处理能力提高 2~3 倍。

(4) 节能环保：实现密闭、气体循环，无需制氮，节能降耗，避免 VOCs 污染。

(5) 运行可靠：结构简单，无填料，不堵塞；兼具高效除油、抗冲击的优势；浮动收油，便于运行调节。

2、超空化密闭气浮装置(橇装)

(1) 带压运行：压力式，多级串联，可根据水质灵活选择级数。

(2) 减少占地：简化流程，模块化，快速安装，占地面积减少 60% 以上。

(3) 其他优势：密闭环保、运行可靠、高度自控。

五、应用案例

位于山东省东营市的中石化胜利油田某采油厂油井作业水水质差，易造成防砂井堵塞，作业有效期短，需要进行水质提升。单个采油厂防砂作业用水需求约为 $1000\text{m}^3/\text{d}$ ，其中 80°C 热水 $400\text{m}^3/\text{d}$, 60°C 热水 $600\text{m}^3/\text{d}$ ，年需供热量 42794GJ ，供水点现有加热方式燃气加热效率低、散热量大，消耗大量天然气资源。此外，根据油田要求，火烧芯罐 NO_x 排放标准应小于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，火烧芯罐未加装低氮燃烧器，烟气排放存在环保风险。

针对该采油厂存在的如上问题，森诺技术有限公司提出了超空化水质提升+光热循环加热耦合的技术方案，也就是采用森诺自主研发的“超空化密闭气浮装置”进行水质提升，同时利用橇装光热装置进行供能，建成“胜利碳中和示范区”，有效解决了现场的问题。同时，森诺通过设计-施工-运维一体化服务，实现了现场安全环保生产。

工程建设规模：占地面积 1.1 万平方米，有效集热面积 3366 平方米(1122 组)，系统最大加热功率 2800kW ，水处理设计规模 $1000\text{m}^3/\text{d}$ ，每年可提供 40°C 清洁热水 $2 \times 10^4\text{m}^3$ 、 60°C 清洁热水 $20 \times 10^4\text{m}^3$ 、 80°C 清洁热水 $15 \times 10^4\text{m}^3$ 。

项目实施效果：

1、单个项目实施后采油厂实现采出水资源化利用，太阳能光热替代天然气加热炉年供热量 21397GJ ，年节省天然气 $92 \times 10^4\text{m}^3$ ，折合年节约标煤 1204t ，年减少碳排放 2025t 。项目合同期为 3 年，年节省天然气 $276 \times 10^4\text{m}^3$ ，折合年节约标煤 3612t ，年减少碳排放 6075t 。按照胜利油田天然气价格 $2.8\text{ 元}/\text{m}^3$ 测算，节能效益 $772.8\text{ 万元}/\text{年}$ 。

2、超空化密闭气浮彻底解决 VOCs(挥发性有机物)逸散问题，改

善工人作业环境。

3、太阳能光热替代燃气锅炉，减少化石能源依赖，符合国家“清洁能源替代”政策。

4、为油田行业提供可复制的“碳中和示范”模式，助力行业低碳转型。

六、推广前景

该技术产品能够实现水处理水质要求，实现了节能减排和绿色热能供应，节约水资源，并提高了新能源利用率，建议推广应用。目标市场选择上，国内市场重点推广至胜利、大庆、辽河等稠油油田区块，在含聚、高黏度采出水处理领域具有较强优势；海外市场聚焦中东、南美等光照充足且油田水处理需求高的地区。

该技术商业模式上可以继续采用试用推广的模式，也即在中小型油田站场先行试点，验证经济性后再大规模推广。未来3年内可实现销售量 ≥ 50 台，年产值8500万元，年减少CO₂排放量36550t/a。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：森诺技术有限公司

联系人：王枫秋

联系方式：18554735935

(九) 减污降碳协同处置

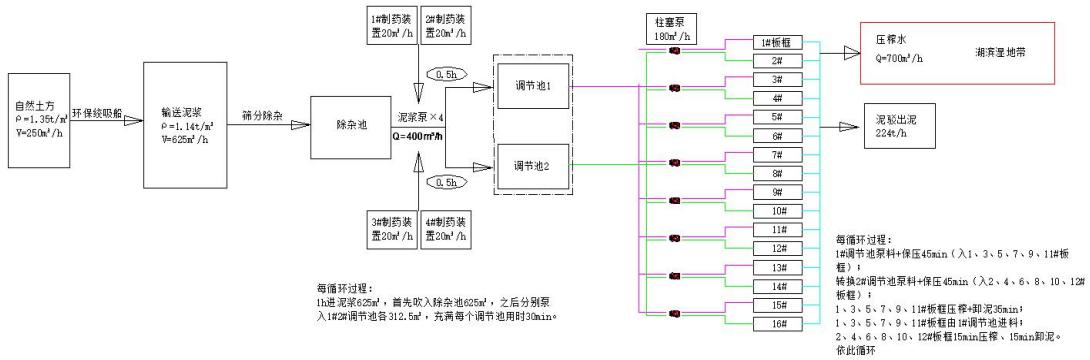
案例一：中交天津航道局有限公司江河湖库水上清淤一体化成套技术及装备

一、技术适用范围

适用于江河湖库内源治理、无害化、减量化、资源化处置和水环境治理工程。

二、技术原理及工艺

江河湖库智能生态清淤水上一体化成套技术装备是首创水上全封闭双动力工厂化处理新工艺，包含高浓度高精度疏浚技术、清淤-调絮-脱水自动化协同技术、水上全封闭双动力工厂化处理工艺3项核心技术工艺，由高浓度环保清淤船、除杂调蓄船、脱水减容船三大功能版块及综合监控系统为一体的双动力水上成套装备平台，其前端采用系列环保挖泥机具、集成智能等创新绿色技术，大幅提升清淤浓度；中间采用除杂调节技术，保证泥浆絮凝质量；后端采用水上高效板框压滤工艺，提高泥饼生产效率。技术装备全过程水上施工，不占用陆域面积，实现淤泥高浓度疏挖、筛分、调蓄、压滤实现减量化，同时余水经过处理实现达标排放，是江河湖库生态清淤领域高端化、绿色化、智能化的“新质生产力”。



工艺流程图

三、技术指标

环保疏浚（薄泥层，厚度 0.1~0.5m）浓度 $\geq 50\%$ ，是国内外行业清淤浓度（10~15%）的 3 倍以上；高效筛分及减容，筛分出渣含水率 $\leq 25\%$ 、脱水泥饼含水率 $\leq 50\%$ （水土比）；绿色低碳，较传统工艺减碳约 44.35%；岸电模式，水上施工岸电绿色零碳排放；智能化程度高，可实现智能化中控系统操作，清淤-调絮-脱水自动化协同度达 100%。

四、技术特点及先进性

- ①首创高浓度清淤，清淤平均浓度 50%，是国内外行业清淤浓度（10~15%）的 3 倍以上；
- ②相较行业传统工艺，处理泥浆量大幅减少，后端余水处理量减少 80%；
- ③采用水上一体化工艺，泥浆输送距离控制在 2km 以内，无需上岸处理，相较传统上岸处理（平均输送距离 15.8km）输送距离较传统工艺平均减少 88%；
- ④板框压滤时间可控，一个循环 1.5h，相较行业普遍 2.5h 的压滤周期，淤泥脱水效率提升 40%；

⑤一体化工艺采用 100%的绿色岸电，相较传统燃油施工，大幅降低碳排放量，绿色环保。

⑥工艺匹配好，衔接顺畅，解决传统模式施工现场作业人员多、管理衔接不畅、安全质量风险高等问题，综合成本节约 9 元/水下方。

五、应用案例

项目名称：新一轮太湖生态清淤梅梁湖区工程

项目概况：项目位于无锡市滨湖区梅梁湖区域，清淤位置为三山岛、闻江口、古竹运河河口等周边水域，以及梅梁湖湖心区、马山岛东部等片区。项目将对梅梁湖中度及以上的污染淤泥进行清淤和处置，湖区清淤面积约 28.9 平方公里，清淤工程量约 834.10 万方，实施周期 2024 年 3 月至 2029 年 2 月。

本工程总清淤方量 834 万方，项目建设总投入 121640 万元，预计可新增利润 7500 万元，经济效益显著。江河湖库智能生态清淤水上一体化成套技术装备应用较传统工艺节能降碳 44.35%（约 3.9 万 tCO₂），同时基于太湖清淤工程淤泥氮、磷及有机质含量，日均削减 TN、TP 和 OM 分别为：4.69t、1.37t、54.15t，削减淤泥内源持续释放对水环境的影响，切断了“湖泛”发生链条；对比以往所采用的“水上挖泥+远程输送+陆地处理”施工工艺，压减了长距离接力输送、泥浆沉积浓缩、挖泥船二次倒吹、泥饼堆存、汽车出运泥饼等工艺环节，有效压缩了淤泥处理周期，平均疏挖浓度较传统工艺提高至 3 倍以上，整体工艺较传统陆地模式综合节约成本 9 元。随着梅梁湖清淤工程的实施，湖区水体水质得以改善，可以使环太湖周围宜居环境与土地价值得到提升，增加地区投资吸引力，为区域经济社会可持续发展创造必要的条件，有助于提升城市形象和社会和谐稳定。



六、推广前景

国内内河、湖泊、水库（如洪湖、巢湖、滇池、洱海、官厅水库等）像太湖一样存在淤泥不同程度的存在富营养化及重金属污染现状，造成水体湖泛等水质污染，需进行有效环保清淤实施内源治理。国内疏浚淤泥处理传统方法是疏浚吹填至周边土地，占用临时用地时间很长，而现在各地征迁临时用地十分紧张，难以满足政府需求。

依托该装备重新定义了清淤工程的运作模式，对比以往治理所采用的“水上挖泥+陆地处理”施工工艺，新工艺串联起环保疏浚、泥浆处理外运、尾水处理等施工环节，实现高浓度疏挖工艺水上一体化淤泥就地处理，通过多系统协同的一体化智能作业系统实现装备的高度集成与高效协同，大幅提升装备生产效率，降低人员劳动强度，增强过程管控，降低陆地资源依赖，杜绝转运二次污染，标准化生态清淤工程，引领示范作用突出，未来三年，预计可实现年产值3亿元、年碳减排达7728tCO₂，对其他江河湖库生态清淤内源治理工程具有推广前景。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：中交天津航道局有限公司

联系人：冯晨

联系方式：13662165181

案例二：江苏江南生态碳科技（集团）股份有限公司烟气脱硫脱碳联产碳硫基增效肥成套装备

一、技术适用范围

适用于燃煤/燃气锅炉烟气、石油化工、煤化工、钢铁、建材、水泥、垃圾及固废焚烧等领域废气脱硫脱碳及硫碳资源化利用。

二、技术原理及工艺

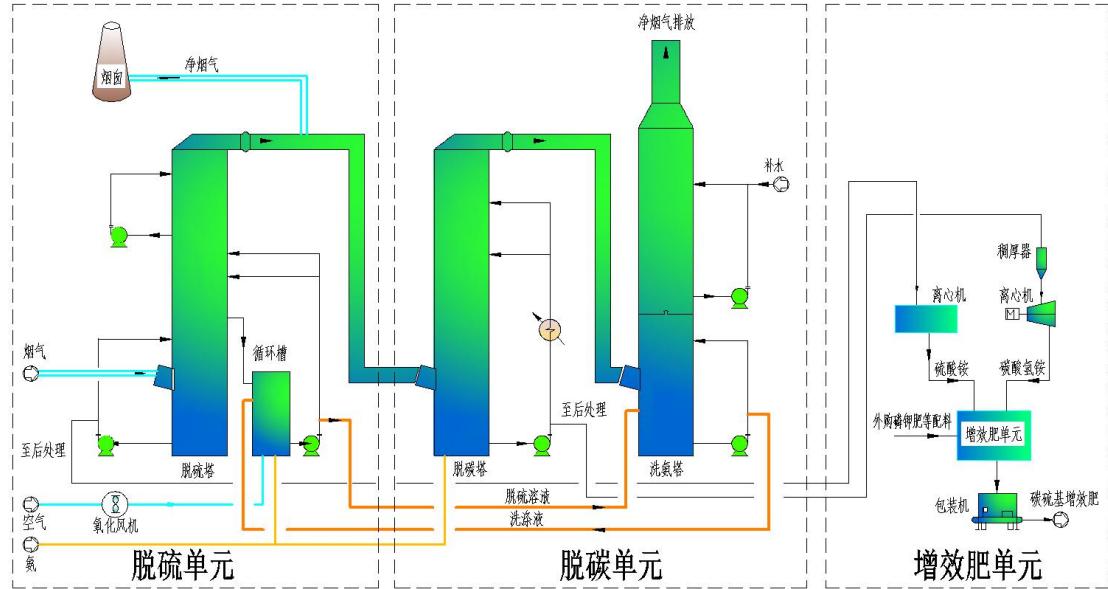
氨法脱硫的技术原理是以碱性强、活性高的氨作吸收剂，吸收烟气中的二氧化硫(1)，再进一步氧化(2)，最终转化为硫酸铵化肥的湿法烟气脱硫工艺。



主要流程是引风机来烟气经入口烟道进入脱硫塔，经洗涤降温、吸收 SO_2 、除雾后的净烟气经塔顶烟囱排放。吸收了烟气中 SO_2 形成的亚硫酸铵溶液，经氧化、浓缩、结晶后得到一定固含量的硫酸铵浆液。硫酸铵浆液送至硫铵后处理系统经旋流、离心分离、得到湿硫酸铵输送至增效肥装置。

氨法碳捕集反应过程是一个一步法生成碳酸氢铵的过程，首先与 CO_2 反应生成氨基甲酸铵，氨基甲酸铵水解成碳酸氢铵和氨，水解出来的氨继续吸收 CO_2 ；生成的碳酸氢铵可以和氨进一步反应生成碳酸铵，碳酸铵吸收 CO_2 生成碳酸氢铵；当溶液中碳酸氢铵达到饱和后结晶析出，得到联产的碳酸氢铵。

吸收过程总反应为：



碳捕集联产碳硫基增效肥技术流程简图

碳捕集联产增效肥技术工艺流程如上图所示，燃煤锅炉等含硫、碳烟气首先进入氨法脱硫装置脱除其中的二氧化硫联产硫酸铵化肥，实现烟气超低排放；部分或全部烟气再进入脱碳系统中进行冷却降温，在常压下，采用逆向分级吸收、多级加氨的方式，工业烟气从前往后依次经过多级吸收塔逐步降低其中的二氧化碳浓度，吸收液从后往前由于二氧化碳浓度的梯度变化依次为氨基甲酸铵/碳酸铵溶液、碳酸氢铵浆液，碳酸氢铵浆液经稠厚器浓缩、离心分离得到产物碳酸氢铵化肥。

在脱除二氧化碳的过程中，溶液中的氨会逃逸至烟气中，再进入洗氨系统中，利用脱硫系统过程中的脱硫液洗涤其中逃逸的氨，洗涤液再返回脱硫系统中使用，从而实现氨逃逸的控制。

碳硫基增效肥是以脱硫脱碳捕集联产的硫酸铵、碳酸氢铵为主要氮源，根据土壤条件、作物需肥特征、添加磷钾等养分及增效剂而生

产的复合肥，与传统的尿素基复合肥相比，具有显著的降低施肥成本和低碳环保功效。

采用常压低浓度 CO₂ 烟气气液固碳酸氢铵反应结晶技术、气液多级逆流吸收、多级加氨及串联分级反应控制关键技术，全球首创了常压条件下脱碳联产氮肥成套工艺，脱碳效率达到 80%以上；

采用界面反应粒径增大及硝化抑制剂共结晶技术，联产的碳酸氢铵化肥满足国家标准（GB/T 3559-2001）一等品及长效碳铵要求；

采用氨法脱硫的溶液洗涤脱碳过程中氨逃逸，解决了氨法脱碳氨逃逸大的世界级难题，氨逃逸浓度达到 3mg/Nm³ 以下；

采用多级低温氨洗涤及冷凝凝并技术，碳捕集后净烟气 SO₂ 浓度 ≤10mg/Nm³、颗粒物浓度≤5mg/Nm³，优于国家超低排放标准。

三、技术指标

- 1、脱碳效率≥80%，脱硫效率≥90%，平均能耗≤2.0GJ/t CO₂；
- 2、排放烟气：颗粒物≤5mg/Nm³，氨逃逸≤3mg/Nm³，SO₂≤10mg/Nm³；
- 3、硫酸铵满足 GB/T 535-2020 肥料级硫酸铵II型要求；
- 4、碳酸氢铵满足 GB/T 3559-2001 一等品要求；
- 5、碳硫基增效肥满足 Q/JNST 003-2024《碳基增效颗粒肥》、Q/JNST 004-2024《碳基增效滴灌肥》企业标准要求。

四、技术特点及先进性

烟气脱硫脱碳联产碳硫基增效肥成套技术是在常压下用氨捕集烟气中 SO₂ 生成硫酸铵，捕集脱硫后烟气中 CO₂ 生成碳酸氢铵，进一

步将副产的湿硫酸铵、湿碳酸氢铵添加磷肥、钾肥、增效剂等深加工成碳硫基增效肥，替代尿素基复合肥，在相同农业效果下，一方面可大幅降低施肥成本 30%-50%，另一方面大幅度减少了农业污染，促进农业绿色转型；装置的脱碳效率 $\geq 80\%$ ，脱硫效率 $\geq 90\%$ ；脱碳平均能耗 $\leq 2.0 \text{ GJ/t CO}_2$ ；脱硫无废水、废渣及 CO_2 排放；处理后烟气中颗粒物 $\leq 5 \text{ mg/Nm}^3$ ，氨逃逸 $\leq 3 \text{ mg/Nm}^3$ ， $\text{SO}_2 \leq 10 \text{ mg/Nm}^3$ ；在减污降碳的同时，通过联产增效肥创造价值，据测算静态回收期约 5 年。其中年捕集 CO_2 小于等于 5 万吨/年的装备，以撬装形式提供。

2022 年 8 月，技术装备通过了由高翔、周卫两位院士领衔、七位权威专家组成的鉴定委员会的成果鉴定，鉴定委员会一致认为：该项目成果达到国际领先水平，建议推广应用，将为我国实现“双碳”目标提供强有力的技术支撑。

关键核心技术的突破：

- 1) 该技术装备首次实现低浓度 CO_2 烟气常压碳捕集联产碳酸氢铵基化肥，脱碳效率达到 80%以上；
- 2) 解决了低成本氨法脱碳氨逃逸大的世界级难题，氨逃逸浓度达到 3 mg/Nm^3 以下；
- 3) 颠覆了传统的 CCUS 技术，解决了传统 CCUS 工艺流程长、投资和运行成本高、推广应用难的难题。

五、应用案例

项目名称：宁波久丰锅炉烟气 1 万吨/年碳捕集联产农作物碳硫基增效肥工业化示范项目

项目概况：宁波久丰热电有限公司 1 万吨/年碳捕集联产碳硫基增效肥示范项目位于浙江省宁波市镇海区蟹浦化工区，在现有

4x130t/h 锅炉烟气氨法脱硫装置后新建 1 万吨/年碳捕集联产碳硫基增效肥成套装备，在常温、常压下采用氨脱除烟气中的 SO₂ 生成硫酸铵，硫酸铵满足 GB/T 535-2020 肥料级硫酸铵 II 型要求；再用氨脱除部分烟气中的 CO₂ 生成碳酸氢铵，碳酸氢铵满足农业用碳酸氢铵 GB/T 3559-2001 一等品要求；脱硫产的湿的硫酸铵、脱碳产的湿的碳酸氢铵，添加磷钾及增效剂后生成碳硫基增效肥，脱除二氧化碳 1 万吨/年，联产碳硫基增效肥约 3 万吨/年。2025 年 8 月项目建成投运并一次性开车成功。西安热工院完成连续满负荷性能测试、国家环境分析检测中心完成满负荷连续监测，各项指标均优于设计指标。

2025 年 10 月 26 日，由中国电力企业联合会、中国石油和化学工业联合会共同主办的氨法脱硫脱碳一体化联产 3 碳硫基增效肥技术（CCU）工业化应用现场评审会在浙江宁波召开。此次现场评审会专家组成员由郝吉明院士任组长，尹伟伦院士和朱法华院士任副组长，其他成员均为行业内著名专家。

评审委员会专家一致认为：“该技术总体达到国际领先水平，产品碳硫基增效肥可广泛用于农业绿色发展和森林固碳等，建议加大推广应用力度，更好地服务于国家碳达峰碳中和及绿色发展战略。”

设计工况下，项目氨法脱硫单元年处理燃煤锅炉烟气约 64 亿标方/年，年脱除 SO₂ 约 1.13 万吨/年，副产硫酸铵 2.36 万吨/年；脱碳单元年脱除二氧化碳 1 万吨/年，副产碳酸氢铵 1.8 万吨/年；净烟气中颗粒物≤5mg/Nm³，氨逃逸≤3mg/Nm³，SO₂≤10mg/Nm³，优于超低排放标准要求。



设计工况下，联产碳硫基增效肥约 3 万吨/年，按 1800 元/吨售价计算，销售收入约 5400 万元/年；同时，脱除二氧化碳 10000 吨/年。

六、推广前景

根据《中国二氧化碳捕集利用与封存(CCUS)年度报告(2023)》数据显示，至 2030 年，中国碳捕集需求量约 1 亿吨/年。本技术的技术经济性远高于传统的 CCUS，会成为电力、钢铁、水泥等行业优选减污降碳技术。若采用烟气脱硫脱碳联产碳硫基增效肥成套装备捕集其中 50% 的二氧化碳，每年可捕集 0.5 亿吨二氧化碳，联产碳硫基增效肥约 1.3 亿吨/年，按照 1800 元/吨售价测算，年产值 2351 亿元，年利润约 200 亿元。按照吨 CO₂ 投资 2000 元测算，EPC 工程投资约 1000 亿元，静态投资回收期约 5 年。

主要市场应用前景预测数据如下：

份 年 脱 碳 规 模 套数	2025	2026	2027	2028	2029	2030

5 万吨/年	10	10	10	10	10	10
30 万吨/年	1	2	4	8	16	30
50 万吨/年	2	4	8	10	15	20
EPC 工程投资 (亿元)	36	62	114	158	256	390
年新增脱除 CO ₂ (万吨)	180	310	570	790	1280	1950
年脱除 CO ₂ (万 吨)	180	490	1060	1850	3130	5080
年新增碳硫基 增效肥产量(万 吨)	463	797	1466	2031	3291	5014
年碳硫基增效 肥产量(万吨)	463	1260	2726	4757	8049	13063
年化肥销售收 入(亿元)	83	227	491	856	1449	2351

七、支撑单位信息

支撑单位名称：江苏江南生态碳科技（集团）股份有限公司

联系人：刘志博

联系方式：13636801556

三、推广类技术装备典型案例

(一) 大气污染防治装备

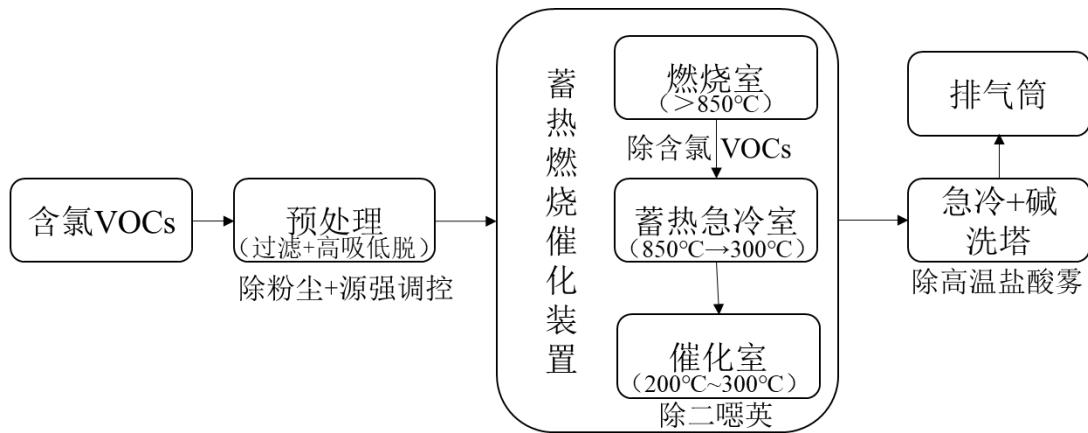
案例一：南大恩洁优环境技术（江苏）股份公司含氯 VOCs 蓄热燃烧-催化关键技术与装备

一、技术适用范围

适用于制药、化工、农药、电子半导体等重点行业含氯 VOCs 废气治理。

二、技术原理及工艺

含氯 VOCs 废气首先经过预处理段，去除粉尘等杂质后进行源强调控平抑废气波动性，而后进入蓄热燃烧-催化装置进行深度处理。具体为，含氯 VOCs 先进入燃烧室，在不低于 850°C 高温下被分解为 H₂O、CO₂ 和 HCl，燃烧室的高温气体进入蓄热急冷室将热量迅速传递给蓄热体，在此过程中，随着温度的降低，不可避免进入二噁英异相催化生成温区，形成二噁英次生污染物。随后，尾气进入到催化室，低浓度二噁英在合适温区接触到高性能催化剂后被催化分解。催化后的尾气中含有高温盐酸雾，经过急冷和碱洗彻底净化后接入排气筒排出。



三、技术指标

处理风量: $5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{h} \sim 1 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$; 进口参数: VOCs (非甲总烃) $500\sim10000 \text{ mg/m}^3$, 二氯甲烷、三氯甲烷等含氯 VOCs 总计 $\leq 1000 \text{ mg/m}^3$; 出口参数: VOCs (非甲烷总烃) $\leq 60 \text{ mg/m}^3$, 二氯甲烷 $\leq 20 \text{ mg/m}^3$, 三氯甲烷 $\leq 20 \text{ mg/m}^3$, 二噁英 $\leq 0.05 \text{ ng-TEQ/m}^3$; 含氯 VOCs 综合净化效率 $\geq 99\%$; 热回收效率 $\geq 96\%$ 。

四、技术特点及先进性

针对制药、化工、电子半导体等重点行业含氯 VOCs 污染治理难题, 围绕含氯废气燃烧过程二噁英生成及设备腐蚀等关键技术瓶颈开展技术攻关, 研发形成“二噁英控制+长效防腐”含氯 VOCs 蓄热燃烧催化关键技术与装备, 突破行业规范中“含卤素废气不宜采用蓄热燃烧法处理”技术制约, 实现了复杂含氯 VOCs 的高效、低碳、安全处置。技术成果先后荣获江苏省环境保护科学技术奖一等奖、中国环境保护产业协会环境技术进步一等奖等荣誉, 并入选中国环境保护产业协会 2024 年《生态环境保护实用技术装备和示范工程名录》, 制药行业含氯 VOCs 与二噁英协同低碳减排案例入选省生态环境厅“生态环境科技成果助力绿色低碳环保产业十大典型案例”, 填补了国内在含卤素 VOCs 蓄热燃烧领域的技术空白。

五、应用案例

项目名称：含氯 VOCs 废气治理项目

项目概况：

项目位于江苏泰州医药高新区滨江工业园内，含氯 VOCs 废气主要来自原料药生产过程中的真空泵尾气、反应釜放空尾气、离心机母液槽加盖收集尾气等。项目总投资 1290 万元，废气处理风量为 30000 m³/h。项目改造前采用碱洗+活性炭吸附工艺，每年 VOCs 减排量为 215.1 t、活性炭使用量为 447.3 t，存在达标困难、废活性炭量大、运维成本高等问题，改造后采用含氯 VOCs 蓄热燃烧-催化关键技术与装备。

项目改造后，含氯 VOCs 综合净化效率可达 99.3%；二氯甲烷及二噁英排放浓度为 1.8 mg/m³ 及 0.016 ng-TEQ/m³，远低于排放限值 20 mg/m³ 及 0.1 ng-TEQ/m³，全年 VOCs 减排量为 223.2 t、二氯甲烷减排量为 22.18 t，不产生废活性炭，废气净化效率达到 99%，年均减排二氧化碳 5540 吨，环境效益显著。



含氯 VOCs 深度治理项目



装备模型图

六、推广前景

含氯 VOCs 蓄热燃烧-催化治理技术为医药、化工、农药、电子半导体等重点行业 VOCs 类新污染物治理提供了新的技术路径，可实现二氯甲烷、三氯甲烷等重点管控新污染物的高效、安全治理，推动了燃烧法在重点行业复杂含氯 VOCs 深度净化的规模化应用，填补了相关领域技术空白。可以此为技术支撑，通过开展技术帮扶、试点应用、制定相关技术指南或行业标准等形式，推动该技术在相关行业的应用。预计未来三年，该技术装备可新增 4.14 亿元销售收入，年 VOCs 减排量可达 3.6 万 t/年。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：南大恩洁优环境技术（江苏）股份公司

联系人：金小贤

联系方式：15850563305

案例二：河南中白环境科技有限公司基于功能纤维的恶臭气体净化技术装备

一、技术适用范围

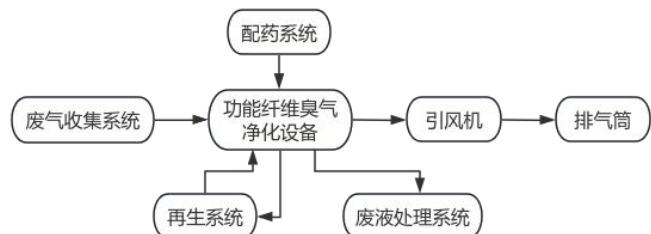
污水处理、污泥处理、畜牧、化工、印染、冶炼、制药等领域恶臭气体处理，可与多种工艺组合使用实现全场景除臭应用。

二、技术原理及工艺

有机功能纤维材料是通过纤维中反应性基团(如腈纶纤维中的氰基)与改性剂间的特殊化学反应(水解反应、加成反应等)，将含特定杂质原子的官能团引入基础纤维骨架材料上制备。功能纤维表面富含高密度酸性或碱性功能基团。

臭气净化技术原理是以官能团接枝改性功能纤维为核心滤层，借助离子交换、络合/螯合、吸附等作用，去除废气中的恶臭组分（氨气、硫化氢等）。采用稀酸/稀碱溶液对吸附后的功能纤维材料进行喷淋再生，可实现滤层的循环使用，再生废液分质处理后达标排放。

除臭工艺为：恶臭气体收集系统→功能纤维臭气净化设备→风机→烟囱。该工艺设备通常负压运行，废气经过功能纤维气体净化设备时，臭气组分与功能纤维材料上的官能团快速反应而去除，达标后的尾气由烟囱排放。



工艺流程图

三、技术指标

处理风量： $\leq 2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$ ；进口参数：温度 $\leq 65^\circ\text{C}$ ，颗粒物 $\leq 10 \text{ mg/m}^3$ ；
氨气浓度： $4 \text{ mg/m}^3 \sim 12 \text{ mg/m}^3$ ，硫化氢浓度： $2 \text{ mg/m}^3 \sim 10 \text{ mg/m}^3$ ；出口参数：氨气浓度 $\leq 0.5 \text{ mg/m}^3$ ，硫化氢浓度： $\leq 0.02 \text{ mg/m}^3$ ，处理效率 $>95\%$ 。

四、技术特点及先进性

可针对恶臭污染物类型，匹配不同官能团接枝改性纤维；以功能纤维为滤材可大幅提高恶臭污染物去除效率，且具有高效低耗、占地面积小、配置灵活、操作简便、运行稳定的优点；功能纤维净化材料可不停机原位再生，实现“净化-再生-循环使用”模式。

功能纤维的恶臭气体净化技术成果鉴定结论为：在恶臭气体净化领域达到国际先进水平。

五、应用案例

项目名称：博兴县第二污水处理厂 4 万立方米每小时功能纤维除臭净化系统项目

项目概况：（1）业主单位：北控工业环保（博兴）有限公司。

（2）项目所在地：山东省滨州市博兴县兴博三路路南。

（3）污染特征：恶臭污染物质以 NH_3 和 H_2S 为主。

（4）工程规模：处理风量 $40000 \text{ m}^3/\text{h}$ ，项目占地面积 275 平方米（ $11\text{m} \times 25\text{m}$ ）。

（5）投运时间：2021 年 11 月

（6）验收情况：通过验收。验收意见：经第三方检测，有组织排放和周界指标均达到设计标准，符合技术要求和排放标准。

工艺流程：收集系统→功能纤维除臭设备→DDBD(预留后期位

置，本项目不建设)→风机→烟囱(15m)。

对粗格栅、进水泵房、细格栅及曝气沉砂池、A段曝气池、初沉池、AAO生物池及污泥脱水间进行密封，收集恶臭气体。气体经负压引风经过功能纤维气体净化设备，臭气组分与功能纤维材料上的官能团进行快速反应，将其从臭气中去除，达标后的尾气直接由烟囱排放。反应一定时间后，不停机的情况下，再生液循环泵将再生液输送至喷淋系统，吸附的恶臭污染物被洗脱进入再生液，并收集至再生液储箱。根据再生液pH值变化决定再生液更换周期，更换后的再生液排放进入污水处理系统。

污染防治效果和达标情况：进口氨气浓度 $4\text{mg}/\text{m}^3\sim 12\text{mg}/\text{m}^3$ 、硫化氢浓度 $2\text{mg}/\text{m}^3\sim 10\text{mg}/\text{m}^3$ ；出口氨气浓度 $0.41\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.52\text{mg}/\text{m}^3$ 、硫化氢 $0\sim 0.02\text{mg}/\text{m}^3$ ，满足《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-1993)要求，氨和硫化氢减排量约为3.82 t/a和2.62 t/a。

二次污染治理情况：项目日均产生废液 0.5m^3 ，该废液浓度及总量均不影响污水处理厂污水处理系统运行，产生的废液直接排入污水处理厂污水处理系统处理。

主要工艺运行和控制参数：进气温度低于 60°C ，含尘量低于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ；滤层透过风速为 $1.5\text{m}/\text{min}$ ；滤芯离子交换容量大于 5mmol/g ；整体设备阻力小于 800Pa 、漏风率小于3%。

投资费用：总投资费用210万元，其中土建投资25万元，设备投资185万元。

运行费用：项目年运行费用约41.6万元，年节约电耗646.53MWh。

能源、资源节约和综合利用情况：通过减少再生液喷淋量、优化喷淋频次、调节可间歇再生的运行模式，降低喷淋泵功率及运行时长，

有效降低运行能耗。



案例图片

六、推广前景

该技术装备解决大气污染防治领域的恶臭污染物，单台设备处理规模 $3000\text{m}^3/\text{h} \sim 10000\text{m}^3/\text{h}$ ，适用于处理氨气、硫化氢、二氧化硫、盐酸雾等酸碱气体及甲硫醇、甲硫醚等恶臭气体。

随着我国大气污染防治要求持续提高，恶臭污染作为其细分市场，将催生治理、监测和监管等领域千亿量级的市场空间，需求旺盛。国家生态环境部于 2018 年 12 月发布了《中华人民共和国国家标准 GB14554-201 口》征求意见稿，以代替 GB14554-93 标准，对污染物排放要求整体收严，已有部分地方标准发布并执行。预计未来三年，该技术装备可在全国推广率可达到 30%以上，实现年销售 1000~9000 万元。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：河南中白环境科技有限公司

联系人：原文奇

联系方式：15036092339

案例三：淮北合众机械设备有限公司智能全密封导料控尘循环系统

一、技术适用范围

适用于煤矿、电厂、水泥厂、选煤厂、港口、钢铁、焦化、有色金属等领域重粉尘处理场景，聚焦物料输送环节的粉尘污染治理。应用后可实现粉尘“零外溢”“零排放”，显著降低作业区域粉尘浓度，同时节能降耗、延长设备使用寿命，满足相关行业环保及职业卫生标准要求。

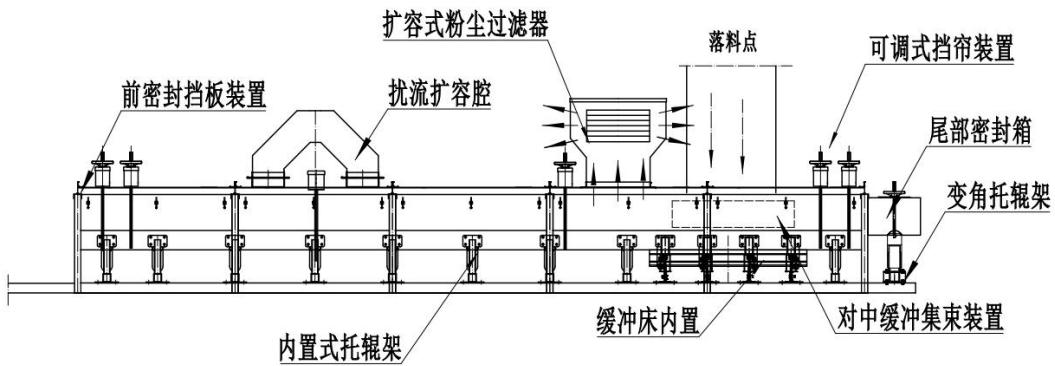
二、技术原理及工艺

技术原理

基于密封阻隔、气流调控、粉尘收集与循环利用核心思路，通过全密封结构隔绝物料输送路径与外界环境，利用气流动力学原理控制管道内气流状态，避免粉尘飞扬。搭配智能检测与控制系统，实时监测粉尘浓度、气流压力等参数，自动调节设备运行状态，实现精准控尘，收集的粉尘可重新回输至生产流程实现资源循环。

工艺流程

物料从进料口进入全密封输送管道，在气流推动下平稳输送；管道内传感器实时采集各项运行参数并传输至智能控制系统；系统检测到粉尘浓度异常时，自动启动干雾抑尘、负压吸尘等控尘设备；输送过程中产生的粉尘经收集装置捕捉后，通过循环管道送回主输送管道与物料混合继续输送；最终物料从出料口输出，全程实现全密封、低粉尘排放。



三、技术指标

密封性能：动态漏风率 $\leq 1.5\%$ ，系统整体泄漏率 $\leq 0.01\%$

控尘效率：粉尘捕集率 $\geq 99.8\%$ ，对粒径 $\geq 1\mu\text{m}$ 的粉尘收集效率 $\geq 99.9\%$ ，排放浓度 $\leq 10\text{mg/m}^3$

处理风量：2000-6000 m^3/h

能耗指标：单位处理风量能耗 $\leq 0.8\text{kW}\cdot\text{h}/1000\text{m}^3$ ，能耗较传统输送方式降低 30% 以上

其他指标：粉尘回收率 $\geq 95\%$ ，设备寿命超 8 年，防爆等级达 Ex d IIC T6 Gb，自动化程度达全自动运行、远程监控及故障诊断水平

四、技术特点及先进性

密封技术先进：采用密封材料与智能压力补偿装置，搭配多层密封胶条、迷宫式密封槽等结构，实现近乎零泄漏密封效果。

智能控尘精准：集成 AI 算法与多源传感器融合技术，可实时监测 12 项关键参数，动态工况下控尘精度较传统设备提升 40%。

资源循环高效：粉尘回收后可重新融入生产流程，实现物料“零损耗”，能源回收率达 35%。

适配性强：标准化接口设计可快速适配不同类型生产设备，老旧生产线改造无需大规模改动，且能满足多行业复杂工况及防爆、耐腐

蚀等特殊要求。

五、应用案例

项目名称:邢台**钢铁有限公司 2#高炉矿槽系统改造项目

项目概况:

项目总投入包含设备采购、安装调试等相关费用，应用智能全密封导料控尘循环系统替换原有普通导料槽及集中式除尘器系统。改造前，原有系统总风量达 52.6 万 m^3/h ，风机主电机功率 1400kW，外排尘气浓度超过 50mg/Nm³，移动通风槽基本无负压，物料转运时粉尘大量外溢；改造后，风机装容量降至 630kW，外排尘气浓度显著降低，粉尘外溢问题彻底解决，每年设备可节电 457 万 kW · h，节约 1555.1tce，直接降低企业用电成本，同时减少粉尘对设备的磨损及医疗支出等隐性成本。

六、推广前景

未来 3 年，该技术装备在工业除尘市场占有率有望从当前 20% 提升至 30%，年产值预计达 1.1 亿元，年销售量达 1100 台（套）。在钢铁、水泥、港口等重点行业普及率将大幅提升，预计每年可减少粉尘排放超 600 万吨，带动上下游相关产业发展，新增就业岗位 1000 个，兼具显著环境效益、经济效益与社会效益。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：淮北合众机械设备有限公司

联系人：刘前进

联系方式：15156165269

案例四：苏州赢众环保有限公司工业废气（水吸收+活性炭吸附）有机溶剂回收设备

一、技术适用范围

适用于纺织、涂层、胶粘、反光材料、医药化工、印刷、膜材料、电子行业挥发性有机物处理及有机溶剂回收。

二、技术原理及工艺

工业废气有机溶剂回收设备利用 DMF、DMAC 含有亲水基团(下述以 DMF 为例)，具有水溶性特征，而甲苯具有脂溶性特征，进行分离、分级处理。多组分有机废气首先由装置预处理后，通过四循环吸收系统进行充分接触，从而使水溶性组分 (DMF) 被充分吸附和回收，吸附饱和后溶剂废液通过循环系统流出循环塔，进入废水罐，等待后续精馏提纯回用生产，而脂溶性组分 (甲苯) 不会被吸附，分离出来后流转至活性炭吸附系统，低温吸附饱和后进行高温脱附，脱附后溶剂废液静置分层，利用脂溶性特征不易溶于水，分离出溶剂直接回用生产，后将剩余气体排出，进行尾气处理，最终达到排放标准。



三、技术指标

- 1、处理风量：40000m³/h~100000m³/h
- 2、进口参数：VOCs（非甲烷总烃，DMF，甲苯，丁酮等）：
3000~5000mg/m³

3、进设备 DMF 和甲苯回收效率：≥99%；回收 DMF 水溶液浓度≥20wt%

4、出口参数：VOCs 浓度： $\leq 40 \text{ mg/m}^3$ ；DMF 浓度： $< 20 \text{ mg/m}^3$ ，DMF 处理效率≥99%；甲苯浓度： $< 15 \text{ mg/m}^3$ ，甲苯处理效率≥99%

四、技术特点及先进性

工业废气有机溶剂回收设备通过靶向性开发多种污染物有机废气“零”排放资源化利用的技术，突破了行业有机废气中有机组分去除率低于 90% 的瓶颈，拔高至 99%，并通过串联，首创一机多能的多污染物协同治理回收技术，分级、高效的处理多组分有机废气，填补国内废气治理设备单一性能的短板，处于国内领先地位。

五、应用案例

江西圣山户外用布有限公司“工业废气有机溶剂回收设备”应用项目。

江西圣山户外用布有限公司位于江西省九江市濂溪区，处于当地产业园区内，自 2023 年 9 月安装“工业废气有机溶剂回收设备”，至今已运行 2 年，项目针对客户产生工业废气的特点，设计一套四循环塔串联六炭罐，治理四条生产线所产生的有机废气，建设规模为 80000m³/h 排风量，总浓度在 4000-5000mg/m³，减排回收 600 吨/年 DMF 溶剂、600 吨/年甲苯溶剂，通过联网至赢众环保智慧运维云平台，实现 24 小时的远程在线监控、设备预警、报警触发及报警推送、维任务的方案录入、下发、接收、处理记录、总结等全过程管理等功能。

项目应用后，经济效益上，一是将废气中的有害物质转化或分离，帮助企业避免因违规排放产生的高额罚款、停产整顿等经济损失，带

来无法估量的间接经济效益。二是回收 DMF 溶剂 600 吨、甲苯溶剂 600 吨，循环再利用转化为生产原料，降低企业原材料采购成本，根据市场价格估算，可节约 600 万元/年。

社会效益上，项目治理废气达标排放，并减排 600 吨 DMF、600 吨甲苯，既可消除排废对环境影响所带来的不必要支出，又保障了附近城乡的生活质量，建立绿色可持续经济体系。

六、推广前景

项目 3 年内预计投入约 1000 万元革新技术工艺与强化运维平台，3 年后预计产生直接收益 7500 万元/年销售额，2250 万元/年利润额，并由循环利用间接减少客户企业成本负担，为国家、地方、企业的经济发展做好“螺丝钉”。通过技术进步，应用增长，3 年后预计减排约 1.5 万吨/年 DMF、1.5 万吨/年甲苯，争做打造绿水青山的践行者。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：苏州赢众环保有限公司

联系人：张晓诚

联系方式：19962880003

案例五：苏州兆和空气系统股份有限公司高效低阻自清式油雾净化器

一、技术适用范围

适用于使用水基切削液和低浓度切削油的磨床、车床、铣床等各种机床以及使用适量油类的螺纹加工、齿轮加工、CNC 机床等。除机械加工领域，设备还可应用于成型加工、纺织、食品等行业产生的油雾净化。

二、技术原理及工艺

高效低阻自清式油雾净化器采用多级过滤的形式，气体经过滤器下方进气口吸入，可依次通过不锈钢丝过滤器、自清式 P 型初效滤芯（可选配）、自清式 S 型中效滤芯、H 型高效滤芯（可选配），气体中的油雾颗粒在钢丝及纤维上移动并聚结成较大液滴，较大液滴沿着排油通道被气流拖拽至滤料出口端，在重力作用流出滤层，实现油雾过滤净化。由于 P 型滤芯、S 型滤芯的玻璃纤维滤材经过表面改性处理，其阻力上升缓慢，且当滤芯中的含油量达到饱和时，油滴可自行滴落，实现滤芯自清，回液经过滤器导出可用于再循环。此设备配有自主设计的数字智能型控制器，能够清晰显示压差、风量、运行时间等多个关键参数的实时数据，同时也能轻松控制设备的运行状态，极大地方便了用户的维护与管理工作。该设备采用分段式箱体设计，可根据应用场合的入口空气的污染程度及出口排放要求自行选择过滤级数，结构紧凑，占地面积小，可根据不同机床体积配备单机或多机组装，布局灵活。



流程图

三、技术指标

单机处理风量: $500\sim 8000 \text{m}^3/\text{h}$; 进口参数: 温度 $\leq 80^\circ\text{C}$; 入口浓度: $\leq 200 \text{mg/m}^3$; 出口参数: 出口浓度: $\leq 0.1 \text{ mg/m}^3$; 过滤风速: $2 \text{m/min}-5 \text{m/min}$; 净化效率: $\geq 99.97\%$; 机外余压: $\geq 300 \text{Pa}$; 距设备 1m 处噪音 $\leq 70 \text{ dB(A)}$; 核心滤芯使用寿命: $\geq 2 \text{a}$ 。

四、技术特点及先进性

技术装备的先进性体现在极高的过滤效率、极低的运行成本和智能化节能控制系统。

净化效率高: 该装备在额定处理风量下, 对于 $0.3 \mu\text{m}$ 油雾颗粒净化效率 $\geq 99.97\%$, 颗粒物的浓度可低于 0.01mg/m^3 , 远低于国家标准的排放限值, 处理后排出的洁净空气可以直接在车间内循环排放。

运行成本低: 该装备的核心部件过滤芯体采用自主开发的自清式高效低阻除油雾用玻璃纤维滤材, 填补了国内高端油雾过滤材料空白, 解决环境污染治理核心材料卡脖子问题, 材料经改性处理, 排油效果更好, 阻力上升更缓, 通常可以连续运行两年以上而无需更换, 极大的降低了用户的运行成本。

五、应用案例

项目名称：山西转型综合改革示范区唐槐产业园“太原重工轨道交通设备有限公司-车轮厂二线环保综合治理”项目。

项目采用每两台机床并入一套油雾净化系统，接入风量 $8000\text{m}^3/\text{h}$ 的高效低阻自清式油雾净化器净化处理后排放，净化器采用多级过滤形式，气雾依次经过不锈钢丝过滤器、自清洁 P 型滤芯、自清洁 S 型滤芯、活性炭滤芯净化后达标排放。总处理风量 $48000\text{m}^3/\text{h}$ ，处理后加工中心生产过程中舱门开启时无气雾溢出和飘散，净化效率 $\geq 99\%$ ，生产现场刺激性气味大幅减小。

该项目每年可减排污染物 6217.5kg。

六、推广前景

随着全球环境法规日益严格，各国政府对工业排放的严格限制以及绿色制造政策的推广，油雾净化器作为节能减排和环境保护的重要手段，其普及率将不断提高。预计到 2028 年，油雾净化器在全球范围内的普及率将较现在有显著提升，中国普及率可能会提升至 40% 左右。

预计到 2028 年，该装备的处理风量可达 $20000000 \text{ m}^3/\text{h}$ ，按照平均油雾释放浓度为 20 mg/m^3 计算，每台机床每年工作 300 天，每天 12h，则总计每年的减排量为 1500 吨。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：苏州兆和空气系统股份有限公司

联系人：范金苓

联系方式：15942881369

案例六：上海沐基环保科技有限公司热辅助真空脱附冷凝回收技术及装备

一、技术适用范围

适用于制药、化工等工业领域高浓度复杂有机废气深度治理及高效溶剂回收领域。

二、技术原理及工艺

1) 吸附：采用经过特殊处理的活性炭、树脂或分子筛中的一种或数种作为吸附剂，接触时间根据浓度及成分一般设计 2s-30s。筛选了 50 多种吸附剂，并测试了 30 多种吸附剂组合吸附-脱附效果。此外；吸附床设置温控系统，可控制吸附床的温度在 30°C 以下（低沸点物质，可控制吸附床温度在 10°C 以下）。降低吸附床温度，一方面降低吸附热导致吸附床温度升高，从而提高吸附效率；另一方面，可以降低吸附床自燃的风险。

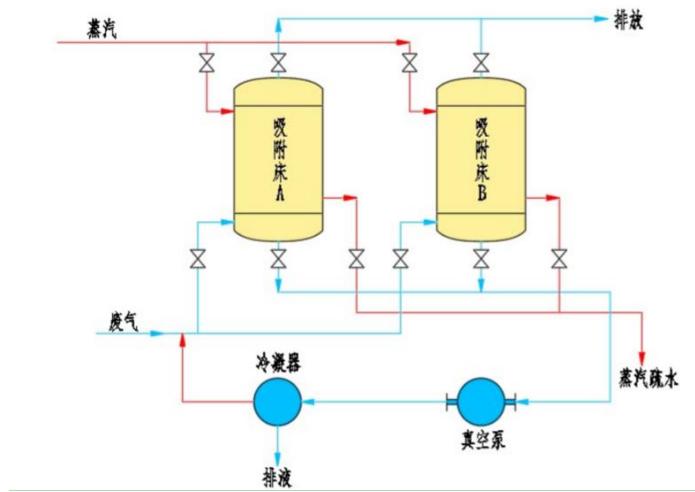
2) 氮气吹扫：使用氮气赶走吸附塔内的氧气，确保系统安全。

3) 脱附：采用间接式加热（热源不与吸附剂接触），将吸附剂加热到 80-130°C，同时开启真空泵。真空度抽至-99.5kpa 以下。

4) 冷凝：脱附气体经过冷凝器冷凝。冷媒要求低于污染物沸点 30°C 以上（二氯甲烷可以实现 5°C 冷媒正常运行）。因为脱附下来的污染物浓度可以达到 90% 以上，所以极易冷凝。

5) 破真空：采用氮气破真空。

6) 降温：采用冷水或冷风，间接将吸附床温度降低到 30°C 以下，冷媒不与吸附剂接触。



工艺流程图

三、技术指标

单套处理风量: $\leq 20000 \text{Nm}^3/\text{h}$; 进口参数: 有机废气 (不聚合、不分解) $< 5 \times 10^4 \text{ mg/m}^3$, 且沸点 $25^\circ\text{C}-350^\circ\text{C}$; 出口参数: 排口浓度 $\leq 10 \text{mg/m}^3$, 极限可控制在排口浓度 $\leq 1 \text{mg/m}^3$ (通过参数调节精确控制排口浓度范围), 处理效率 $\geq 99.9\%$ 以上; 吸脱附参数: 吸附温度 $\leq 20^\circ\text{C}$, 脱附温度 $\geq 80^\circ\text{C}$, 脱附压力 $< -95 \text{kpa}$, 吸附床工作状态下可实现实时调控温度, 几乎无自燃风险; 其他参数: 溶剂回收效率 $\geq 99\%$, 不产生废水等二次污染物, 运行成本相较传统吸脱附工艺降低 50%。

四、技术特点及先进性

①能耗低

在相同处理效率条件下, 热辅助真空脱附技术相比于传统吸脱附能耗降低 40% 以上。真空脱附温度为 $80-100^\circ\text{C}$, 加热、冷凝、冷却等一系列的过程能耗均急剧降低。在冷凝过程中, 真空脱附仅需冷凝污染物; 而蒸汽脱附需要先冷凝蒸汽, 再冷凝有机物。此外, 真空脱附不需要对吸附剂进行干燥。

②浓缩倍数极高

浓缩倍数可达 5000 倍以上。真空脱附，脱附时，系统不允许任何气体进入脱附塔，排出的气体为被吸附剂吸附的污染物质和吸附塔内的空气。空气量约为 2-3m³，吸附污染物约为 60kg。即，从真空泵排出的物质为 3kg 空气 + 40kg 污染物。排气浓度极高，排气量极小，非常容易冷凝。

③脱附彻底

系统内的压力处处相等，不存在局部压力达不到设定值的情况，所以整个系统可以实现 360 度无死角彻底脱附。且整个脱附过程实现了参数化控制，参数达到设定值即代表脱附彻底，彻底解决了传统脱附过程无法判断是否脱附彻底的难题。

④吸附剂寿命长

系统脱附彻底，不存在残留，吸附效率可以较好的保持。此外，真空条件，脱附温度较低，无水汽、氧气等物质的侵袭，吸附剂表面不易发生变化，从而确保吸附剂寿命可以持续更长时间。

⑤无二次污染

系统无废水产生。系统热源（水蒸气）不与污染物接触，脱附过程不会产生废水。

⑥高沸点物质可脱附彻底

沸点不高于 350°C 的物质均可脱附彻底。传统脱附工艺只适用于沸点在 200°C 以下的物质，远优于传统脱附工艺。

⑦安全性高

工艺过程安全可靠，风险极低。

⑧排口浓度可控

仅通过调节吸附和脱附参数即可任意控制排口浓度，极限可控制

排口浓度在 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，领先全球。

六、应用案例

项目名称：杭州创丽聚氨酯有限公司二氯甲烷废气升级改造项目。

项目概况：

杭州创丽聚氨酯有限公司是上市公司吉华集团全资子公司，主要从事聚氨酯发泡材料的研发和生产，在发泡工艺当中会应用到大量二氯甲烷溶剂，废气因子主要为二氯甲烷和 TDI 等，原有处理工艺为：喷淋+活性炭吸附+蒸汽脱附+冷凝，企业排口安装有在线检测系统。原有处理工艺存在以下问题：1) 排口浓度不稳定，随着生产负荷变动排口浓度急剧变化，存在间歇性超标的问题；2) 吸附剂易失活，活性炭更换一周内排口浓度较稳定，更换一周后排口浓度急剧波动，活性炭吸附效果变差，吸附剂失活，每年因更换活性炭产生的费用令企业苦不堪言；3) 夏天排口浓度易超标，夏天浓度远高于冬天；4) 活性炭再生产生大量废水，废水站难以处理且处理成本高昂；5) 设备腐蚀严重；6) 运行成本较高。

2、项目改造方案

工艺优化：保留原有喷淋系统，喷淋后采用预冷+活性炭吸附+热辅助真空脱附+冷凝工艺，工艺流程图见下图：

改造前后处理效率及经济性对比：

序号	参数	热辅助真空脱附工艺	原有工艺
1	投资成本	250 万左右	200 万左右
2	综合运行成本	25 万	80 万
3	设计使用年限	大于 10 年，几乎无	设备腐蚀严重

		腐蚀	
4	吸附剂使用年限	质保 2 年，可使用 5 年以上	每年需更换数次
5	废水产生情况	无废水	产生大量废水
6	处理效率	99.9%	在不及时更换活性炭情况下不足 50%
7	回收溶剂	80 吨(几乎接近纯溶剂)	纯度较低，需要精馏后方可回用
8	达标稳定性	稳定达标	间歇性超标



改造后项目现场照片

六、推广前景

“十五五”规划中明确提出，更加注重源头治理，强化减污降碳协同，要积极稳妥推进和实现“碳达峰”，过往“一烧了之”的情况将大大减少，未来对高效回收技术的需求将爆发式增长。预计未来 5 年，该技术在全球范围内推广率达到 30% 以上，总投入在 45000 万，年实现

VOCs 减排 15000t 以上，年溶剂回收效益 8000 万以上，年 CO₂ 减排 200000t 以上。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：上海沐基环保科技有限公司

联系人：刘高雷

联系方式：18621806984

邮箱：liugaolei@sh-muji.com

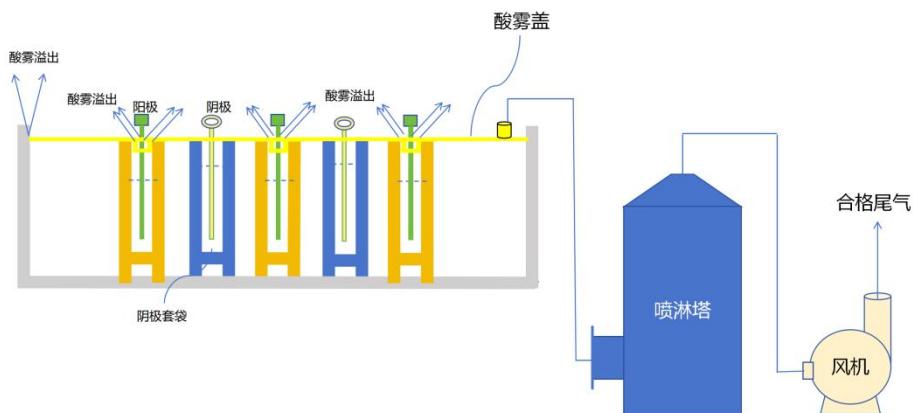
案例七：杭州三耐环保科技股份有限公司阳极套袋法三耐镍电积工艺 技术及装备

一、技术适用范围

适用于有色金属冶炼行业电积镍生产制造

二、技术原理及工艺

采用密闭式阳极框的酸雾技术，底部平行流进液方式，加大了阴极进液循环量，减小了浓差极化；通过控制阳极液流量及酸度，实现了控制电积过程中的液位高度及液位差，提高电镍产品的品级率；首创密闭式阳极框的酸雾抽取方式降低了车间酸雾浓度，槽面一米以上酸雾小于 $1\text{mg}/\text{m}^3$ ；镍及其化合物小于 $1\text{mg}/\text{m}^3$ ；采用阳极套袋的隔膜电积形式减少了总气量，降低能耗，提高单槽产能，提升产品质量。



三耐阳极套袋法工艺流程图

三、技术指标

电流密度 $>230\text{A}/\text{m}^2$ ；电流效率 $\geq95\%$ ；硫酸雾（槽面 1m 以上）含量 $<1\text{mg}/\text{m}^3$ ；镍及其化合物（槽面 1m 以上）含量 $<1\text{mg}/\text{m}^3$ ；电镍产品的 Ni9996 品级率 $\geq98\%$ ；酸雾处理量 $\geq16263 \text{ 吨/年/万吨镍}$ 。

四、技术特点及先进性

1.采用密闭式阳极框的酸雾抽取方式及阳极套袋的隔膜电积形式，彻底解决行业痛点酸雾问题，生产现场槽面一米硫酸雾含量<1mg/m³。实现产业化的生产线，是在已知硫酸体系生产电镍报道中，唯一低于1mg/m³标准的生产线。

2.应用平行流技术，大幅增加了阴极进液循环量，减小了浓差极化；通过控制阳极液流量及酸度控制电积过程中的液位高度及液位差，改善电镍产品结晶质量，提高电镍产品质量，底部无气孔，不夹液。

3.采用多回路导电技术及装置，运行电流密度从180A/m²提升至230A/m²以上；阴极单板面积从1.5 m²加大至1.8 m²，单槽产能可提升40%以上。槽电压降低0.1~0.2V，减少运行能耗；电流效率从传统法90%可提高到95%以上；吨镍隔膜袋消耗从0.6个降低至0.1个。

4.采用分体式结构的隔膜框，在生产过程中可随时将某个隔膜框取出，操作和维护方便。每万吨镍产能用工由传统的100人可降低至50人，节约人工成本。

2023年10月14日，“阳极套袋法三耐镍电积工艺技术及装备”通过中国有色金属行业协会科学技术成果评价，评价结果为：达到国际领先水平，建议加快推广应用！展示了我国镍电积工艺技术的巨大进步。目前，该技术已受到世界镍钴行业的广泛关注，它的推广应用将进一步推动我国乃至世界镍电积技术水平的发展和进步。

五、应用案例

项目名称：中伟新能源科技有限公司投产的1.25万吨电积镍EPC

项目。

项目概况：

项目应用阳极套袋法三耐镍电积工艺技术，投资规模 10880 万元，项目应用后：在产能上，电镍设计产能为 1.25 万吨/年，实际生产产能可达到 1.5 万吨/年，产能提高 20%。在酸雾治理上，阳极套袋法三耐镍电积工艺及装备技术采用了全密闭酸雾抽取方式，槽面一米以上硫酸雾含量小于 $1\text{mg}/\text{m}^3$ ，远远好于采用传统镍电积工艺的镍电积车间，大大改善了车间的生产环境，改善了员工健康并且延长了设备使用寿命。在电镍产品质量上，阳极套袋法三耐镍电积工艺及装备技术的 Ni9996 品级率可达到 96% 及以上，远高于传统镍电积工艺的 90%。在隔膜袋损耗上，阳极套袋法三耐镍电积工艺及装备技术的隔膜袋消耗仅为 0.1 个/t 镍，远低于传统镍电积工艺的 0.6 个/t 镍，该项目每年可以节约隔膜袋维修费用 125 万元。在人工成本上，阳极套袋法三耐镍电积工艺及装备技术采用阳极套袋法，电镍黏附隔膜袋的可能性大大降低，槽面基本不需要处理电镍沾袋问题，传统镍电积工艺的人员配置为 100 人/万 t 镍，阳极套袋法三耐镍电积工艺及装备技术的人员配置仅为 50 人/万 t 镍，所需人工数量大大减少，该项目每年可以节省人工开支 625 万元。



六、推广前景

“十五五”是我国实现“碳达峰”目标的关键期，推动能源结构深度转型的攻坚期，面对新形势新要求必须构建清洁低碳、安全充裕、经济高效的现代化能源体系。镍电积生产工艺属于高能耗高污染行业，全球对镍需求的不断增长以及环保要求的日益严格，阳极套袋法三耐镍电积工艺技术及装备具有广阔的市场前景。其在提升产品质量、节能环保、安全生产等方面的显著优势，能够满足企业提高竞争力和可持续发展的需求，有望在镍电积行业得到广泛应用和推广。三耐法镍电积助力镍电积行业健康发展。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：杭州三耐环保科技股份有限公司

联系人：黄安琪

联系方式：15968855645

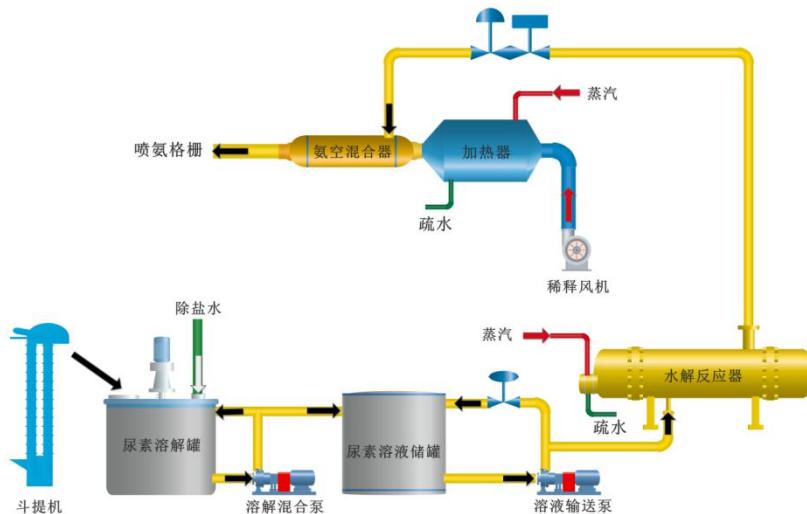
案例八：大连贝斯特环境工程设备有限公司尿素制氨 SCR 脱硝成套技术装置

一、技术适用范围

适用于 300MW 以上大型火电机组电站锅炉等烟气脱硝。

二、技术原理及工艺

来自尿素溶液储罐内浓度约 50wt% 尿素溶液，经尿素溶液输送泵送入盘管式水解制氨反应器内，通过约 160°C、0.6MPa 饱和蒸汽进入管程盘管加热尿素溶液，在反应器中水解生成 NH₃、H₂O 和 CO₂，产物经由热风稀释后，进入氨空混合系统，经氨喷射系统进入 SCR 脱硝系统反应。



工艺流程图

三、技术指标

处理风量： $1 \times 10^5 \text{Nm}^3/\text{h} \sim 1 \times 10^6 \text{Nm}^3/\text{h}$ ， 进口参数：
NOx≤500mg/Nm³，出口参数： NOx≤50mg/Nm³，脱硝效率>90%， 氨逃逸<3ppm，水解氨转化率>98%，消耗蒸汽<1.2kg 标准蒸汽（每产生 1kg 氨），消耗电耗<0.8kw（每产生 1kg 氨），主装置核心设备

使用寿命>30a。

四、技术特点及先进性

采用低品质饱和蒸汽做热源，能耗低，运行费用低，尿素安全便于运输和储存；采用辅助加热技术，解决普通水解器反应速度较慢（3-5min）和结晶问题；设备紧凑，属于压力容器，布置灵活可以和尿素氨区公用制布置或炉区单元布置；

核心撬装水解器借鉴化工换热采用管式换热优化管束设计加热尿素溶液水解氨气，解决了水解工艺系统容易结晶、堵塞、腐蚀的问题，提高换热效率和分解率，降低设备能耗；同时尿素水解制氨全套水处理工艺系统排水回用溶解系统，废水零排放绿色环保，水解制氨全套工艺系统装置及核心设备水解器、减温装置等填补燃煤火电厂烟气脱硝装置领域短板。

五、应用案例

项目名称：广东粤电韶关发电 2×330MW+2×600MW 脱硝 EPC 项目。

项目概况：

项目应用尿素水解工艺含普通水解和催化水解，普通水解预留催化水解工艺接口，项目投资 3300 多万元。项目应用前：2×330MW 机组 2×373kg/h 的供氨量，2×600MW 机组 2×296kg/h 的供氨量。

项目应用后：其中两台 660MW 火电机组尿素水解制氨成套装置。单台机组脱硝装置设计入口烟气参数 BMCR：2141926 Nm³/h，脱硝效率不低于 89%，SCR 入口 NOx 浓度小于 400mg/Nm³，出口 NOx 排放浓度不超过 40mg/Nm³。

两台 330MW 火电机组脱硝装置设计入口烟气参数 BMCR：

1025953 Nm³/h，脱硝效率大于 91%，SCR 入口 NOx 浓度小于 450mg/Nm³，出口 NOx 排放浓度不超过 40mg/Nm³。

在运机组为两台 330MW 容量机组及两台 600MW 容量机组，共 186 万千瓦容量，年发电能力 162 亿千瓦时。通过完整的水解制氨成套工艺系统的设计，脱硝装置反应器出口 NOx 浓度不高于 40mg/Nm³（氧含量 6%，干基），脱硝装置自动投入率不低于 98%，脱硝装置的氨逃逸率不大于 2.5ppm，尿素系统电耗量：79.9 kW/h，蒸汽耗量： <1.9 （单台水解器）t/h。

实施周期为 10~12 个月。

六、推广前景

国家能源局 2022 年发布的《电力行业危险化学品安全风险集中治理实施方案》为确保火电厂安全环保运行，全国公用燃煤电厂脱硝必须采用尿素替代危险化学品液氨制氨工艺技术。针对 350MW 以上大型新建火电机组项目，未来三年新增 1.4 亿千瓦新建机组容量，全国新建火电机组烟气脱硝尿素水解制氨系统市场总投资需求量在 9 亿元以上。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：大连贝斯特环境工程设备有限公司

联系人：赵俊德

联系方式：13332226927

(二) 水污染防治装备

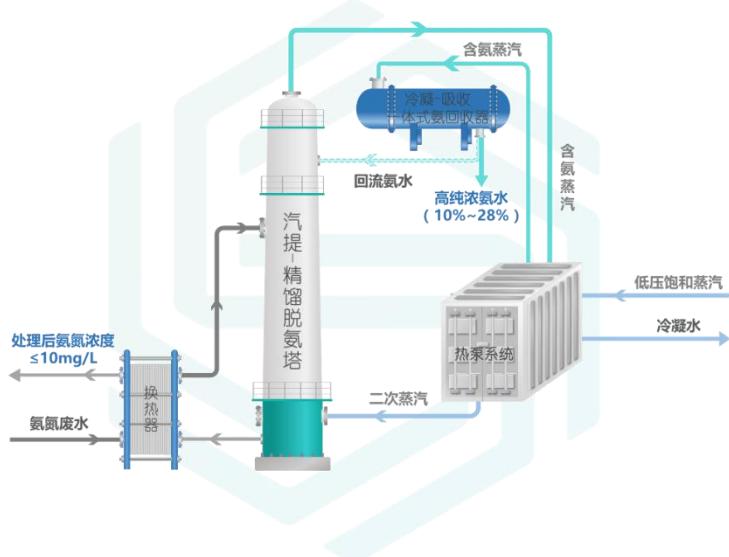
案例一：北京中科康仑环境科技研究院有限公司基于热泵精馏的氨氮废水资源化处理成套技术装备

一、技术适用范围

适用于新能源电池、镍钴、钨钼、稀土、新材料、金属材料加工、废旧动力电池回收等行业高浓度氨氮废水（1-70g/L）的资源化处理。

二、技术原理及工艺

基于氨与水分子相对挥发度的差异，采用汽提精馏原理，使废水在精馏脱氨塔内一定温度分布和溶液 pH 条件下进行充分的传热和传质，通过氨-水的气液平衡、金属-氨的络合-解络合反应平衡、金属氢氧化物的沉淀溶解平衡作用，将氨氮以分子氨的形式从水中分离，并在塔顶冷凝回收为高纯氨水产品。同时通过热泵节能系统，将塔顶含氨蒸汽余热进行回收和循环利用，大幅降低过程蒸汽耗量，过程不产生二次污染。



三、技术指标

处理能力 50-5000 吨/天，蒸汽流量 $30 \sim 60 \text{ kg/m}^3$ ，蒸汽压力

0.3-1.0MPa, 反应温度 90-110°C, 反应压力为常压, 冷却温度 25-40°C。进水氨氮 1-70g/L, 出水氨氮<10mg/L (最低可低于 5mg/L), 回收氨水浓度 10%-28%可调, 氨资源回收率大于 99%; 清塔周期大于 6 个月, 运行弹性负荷 20-140%; 比传统精馏技术蒸汽耗量减少 50~70%、碳排放量减少 30%以上。

四、技术特点及先进性

(1) 氨氮处理效果好。首创药剂强化热解络合-分子精馏技术, 实现重金属-氨深度解络合 (解络合率大于 98%), 将废水中高浓度氨氮一步处理至<10mg/L (最低可低于 5mg/L)。

(2) 资源化效率高。氨氮资源化回收为 10%-28%的高纯度浓氨水产品, 可回用于生产或销售, 氨氮去除率和资源回收率大于 99%。

(3) 设备抗堵阻垢能力强, 避免了因结垢造成脱氨塔维护频繁和设备处理效率下降的问题, 能长期稳定运行, 清塔周期大于 6 个月。

(4) 过程节能低碳。通过耦合 MVR 热泵节能技术, 显著降低脱氨过程蒸汽消耗量与运行成本, 吨水蒸汽耗量仅 30-60kg/m³, 与传统精馏技术相比, 蒸汽耗量减少 50~70%、碳排放量减少 30%以上。

(5) 该技术装备可实现撬装一体化设计, 具有占地面积小、集成度高、工程建设周期短的特点。

(6) 全过程无废水、废气、废渣等二次污染产生, 克服了传统处理技术成本高、污染转移等缺点。

五、应用案例

项目名称: 厦门某新能源企业三元前驱体废水热泵精馏脱氨项目

项目所在地: 福建省厦门市海沧区(福建)自由贸易试验区

项目概况:

该项目脱氨系统于 2018 年 1 月建成投运，废水原始氨氮含量为 7g/L，处理后出水氨氮指标 $\leq 15\text{mg/L}$ （根据企业需求设定），精滤后废水中离子态重金属含量： $\text{Co} \leq 1\text{mg/L}$ ， $\text{Ni} \leq 0.5\text{mg/L}$ ， $\text{Mn} \leq 1\text{mg/L}$ ，出水稳定达标。同时资源化回收浓度不低于 15% 的氨水，过程无二次污染产生。为进一步实现节能降碳，于 2024 年 7 月完成脱氨系统的热泵节能改造，改造后系统蒸汽耗量仅 38kg/m^3 、用电量 5.5kW.h/m^3 。与传统汽提脱氨工艺相比，热泵工艺的吨水蒸气消耗降低了 62%，吨水碳排放量减少了 46%。该项目可实现氨氮污染物减排 1900 吨/年，回收浓氨水 15387 吨/年，热泵系统可节约蒸汽消耗 24552 吨/年、减少 CO_2 排放量 4526 吨/年。通过回收氨水带来经济效益约 769 万元/年，通过节约蒸汽消耗减少运行成本 540 万元/年。



六、推广前景

该技术适用于新能源电池、镍钴、钨钼、钒锆、稀土、新材料、废旧锂电池回收利用等有色冶金行业，具有氨氮处理效果好、资源化效率高、节能低碳、无二次污染的特点。目前已在国内三元锂电池、镍钴、钨钼等行业建设示范工程 5 套。预计未来三年推广应用案例数

达 30 项，实现氨氮污染物减排 11 万吨/年，通过降低能耗、污染物减排及资源回收为应用企业带来经济效益约 6.8 亿元/年。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：北京中科康伦环境科技研究院有限公司

联系人：潘经理

联系方式：13311270945

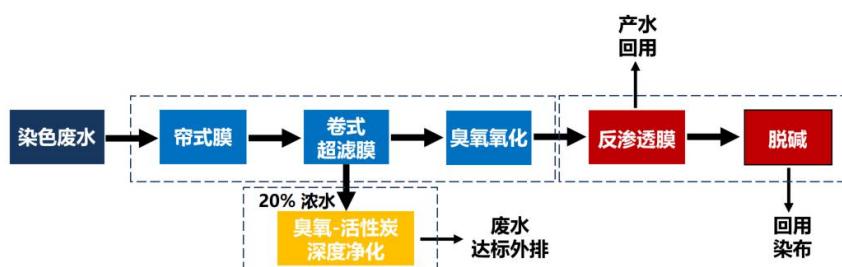
案例二：浙江津膜环境科技有限公司染色废水盐回用膜成套装备

一、技术适用范围

适用于印染行业棉、麻、化纤、混纺等织物染色工段产生的高盐染色废水深度处理，应用效果为回收废水中的硫酸钠以液体浓盐水形式直接用于织物染色，重点覆盖活性染料、直接染料等染色环节。

二、技术原理及工艺

装备集成“抗污染帘式膜、特种卷式超滤膜、高级氧化、高压反渗透膜、脱碱以及臭氧-活性炭池”六大核心处理单元。装备进水为印染染缸染色废水，首先进入抗污染帘式膜装置，有效去除废水中纤维、胶体等大颗粒悬浮物；卷式超滤膜装置对废水中的染料分子等有机物截留，产水保留高浓度的无机盐进入臭氧高级氧化装置，浓水则经臭氧-活性炭池深度处理后达标排放；臭氧高级氧化装置进一步降解前工序产水的小分子染料有机物和色度；高压反渗透膜装置作为无机盐浓缩核心单元，提高水中无机盐浓度，产生的淡水作为中水回用，浓水进入脱碱工艺；吹脱塔进一步去除浓盐水中的碱度，最终得到高纯度浓盐水，电导率 $\geq 70000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，色度 ≤ 50 ，可直接回用于织物染色工序。



装备工艺流程图

三、技术指标

单套装备处理量： $200 \text{ m}^3/\text{d} \sim 230 \text{ m}^3/\text{d}$ ，装备水回用率 $\geq 80\%$ ，盐

回用率 $\geq 75\%$ ；进水水质：电导率 $30000 \sim 50000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ， $\text{COD} \leq 2000 \text{ mg/L}$ ；外排尾水水质： $\text{COD} \leq 200 \text{ mg/L}$ ，色度 ≤ 50 ；外排尾水符合《纺织染整工业水污染物排放标准》（GB 4287-2012）要求；回用水水质： $\text{COD} \leq 50 \text{ mg/L}$ ，色度 ≤ 25 ，电导率 $\leq 2500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ；回用水符合《纺织染整工业回用水水质》（FZ/T 01107-2011）要求；回用浓盐水水质：电导率 $\geq 70000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，色度 ≤ 50 ；回用浓盐水水质符合《印染废水膜法集成装备》（GB/T 43359-2023）要求。

四、技术特点及先进性

装备以多级膜法处理为核心，将高盐染色废水净化浓缩得到的无机盐以浓盐水的形式直接回用到染色工艺，技术先进性达到国际先进水平，填补国内液体盐回用技术空白。

(一) 构建了“抗污染帘式膜-卷式超滤膜-高级氧化”三级前处理净化技术。抗污染帘式膜装置采用新一代高强度纤维织物增强聚偏氟乙烯（PVDF）中空纤维膜，解决传统膜丝机械强度不足、抗污染差等难题，搭配脉冲节能曝气器，系统能耗降低 30%。卷式超滤膜通过精准孔径筛分机制分离有机物与无机盐，实现 COD 去除率 $\geq 65\%$ 、无机盐透过率 $\geq 80\%$ 。臭氧催化氧化技术通过高活性自由基高效降解水中未反应完全的染料小分子，降低水中色度和 COD 浓度。

(二) 开发了“高压反渗透膜-吹脱塔除碱”无机盐浓缩纯化技术。高压反渗透膜具有脱盐率稳定、通量高、抗有机污染及使用寿命长等优点，膜污染速率较传统膜降低 20%以上，膜系统在高压环境下稳定运行。基于电离平衡原理的脱碱调控，结合空气吹脱技术实现盐水中碱度去除率 $\geq 95\%$ ，最终浓盐水碱度 $\leq 10 \text{ mg/L}$ ，确保盐水回用时染布色差合格。

(三) 成套装备创新模块集成、流程智能协同，实现废盐和废水的资源化利用。相较于常规蒸发结晶设备，本装备系统运行能耗较低；相较于盐回收萃取系统，本装备无大量药剂消耗，无二次污染等问题。

五、应用案例

项目名称：阿拉尔市兴美达印染有限公司 400 吨/天盐回收利用项目

项目概况：项目位于新疆阿拉尔市，属新建工业废水盐资源循环利用项目，针对印染机缸初道脚水即染色废水（电导率 $40000 \sim 60000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ），由浙江津膜环境科技有限公司提供技术及装备服务，设计采用“抗污染帘式膜+特种卷式超滤+高级氧化+高压反渗透膜+吹脱塔”工艺，2024 年建设投运使用。系统处理规模 $400 \text{ m}^3/\text{d}$ ，其中水回用率 $\geq 80\%$ ，系统盐回用率 $\geq 75\%$ ，浓缩盐溶液电导率 $\geq 70000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，浓盐水回用于车间染色工序，实现高盐染色废水的高效处理与盐资源循环利用。

经济和环境效益：项目每年污染物减排总量 258.72 吨（以 COD 为计），无机盐减排总量为 3960 吨（以 TDS 为计），节约总费用为 57.29 万元。





六、推广前景

随着政府对废水中污染物外排限制政策收紧，印染企业逐渐朝向降本增效、节能减排的绿色模式发展，高盐染色废水低成本处理及无机盐资源循环利用成为关键。本装备通过多级膜集成工艺，实现高盐废水盐资源与水资源的双重回用，契合国家政策导向与行业可持续发展需求，具有良好的市场前景。未来三年，预计推广销售 30 台，产值达千万元，无机盐总回用量 7 万吨，年减少高盐废水排污 70 万吨。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：浙江津膜环境科技有限公司

联系人：阿如汗

联系方式：18258532001

案例三：国能水务环保有限公司废水集约协同处理与资源化技术装备

一、技术适用范围

适用于煤炭、煤电、化工、冶金等领域，废水集约节约利用。

二、技术原理及工艺

开发了“自由离子辅助软化协同处理+高盐浓缩+降膜蒸发结晶”的废水资源化处理主工艺，并配套“碱度离子协同软化+耐垢膜材料+结垢倾向预测+Na⁺浓缩液树脂软化”的高效防垢浓缩减量系统，构建了从废水产出、处理、回用到浓水处置及副产品资源化的全链条技术模式。同时，架构以膜系统全生命周期运行优化为核心的智慧水务平台。通过构建3D透明数字水厂，建立基于膜运行机制和物质流传递机理的高精度数学模型及经济分析模型，研发了膜系统智能运行优化系统和全流程智能加药系统，实现对水处理系统的智慧化统驭管理和全流程智能调控。工艺路线图如下。



工艺流程图

三、技术指标

经梯级利用后的废水减量率≥90%；反渗透产水 TDS≤700mg/L；水回收利用率≥99%；固体废物减量率≥90%；产出结晶盐氯化钠纯度

$\geq 99.8\%$ ，硫酸钠结晶盐纯度 $\geq 99.3\%$ 。

四、技术特点及先进性

该技术提出了废水的智慧化全资源利用整体解决方案，研发低成本的除硬浓缩、减杂盐工艺系统，提出了多组分高盐废水高效防垢的双一级盐提取技术，研发了精制两种工业盐方案，可精制一级标准工业氯化钠工业盐和I类一等品硫酸钠工业盐。开发了全生命周期智慧水务运维系统，实现智慧运营、智慧管理为一体的智能化水务。

五、应用案例

项目名称：神东煤炭集团补连塔煤矿矿井水处理 EPC+O 项目。



补连塔工程现场图

项目概况：

(一) 用户用能情况简单说明

项目应用于神东煤炭补连塔区域 $30000 \text{ m}^3/\text{d}$ 矿井水提标治理 EPCO 项目。项目建成后，相较于目前矿区在传统模式下的人力投入，预计可减少人力成本 150 万元/年；通过对污水处理厂进行能耗监测与优化，可实现每年运营电费的减少至少 8%，降低电费近 80 万元/年；同时药剂消耗可减少 6%，按吨水药剂耗费 $2.232 \text{ 元}/\text{m}^3$ 测算，每

年降低药剂消耗约 97.76 万元，合计降低运营费用约 328 万元/年。

（二）实施内容及周期

1.集约协同处理与资源化工艺，搭载厂级统驭式智慧控制技术，日处理水量提高 20%，实现全年满负荷稳定运行，能耗药耗降低 10%，核心膜技术运维成本节约 15%，使用寿命延长 20%。

2.实施周期 8~9 个月：其中技术方案设计与设备采购 2 个月，工艺安装施工 4~5 个月，系统调试与优化运行 2 个月，确保各技术模块高效衔接，快速实现提标与降本双重目标。

六、推广前景

仅以黄河流域为例，该区域大量高耗水煤电企业消耗黄河工业用水总量的 25%，区域水资源开发利用率超 80%，远超 40% 的生态警戒线。预计到 2030 年，用水缺口将达 138 亿立方米/年，煤电等高耗水行业亟须寻求水源替代方案。因此，统筹有限的水资源，开展全过程节水减排，提高水资源复用率，开发工业水的无废处置技术，加大能源产业环保治理力度、促进煤电产业与环境保护的协调发展，是实现高质量发展和大保护、大发展的必经之路。本项目研究成果可推广应用煤炭、煤电、化工、冶金等领域，尤其在煤电联营、煤电化能源基地、工业园等区域具有推广价值。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：国能水务环保有限公司

联系人：陈雪

联系方式：15201358503

案例四：山东天维膜技术有限公司均相膜电渗析器

一、技术适用范围

适用于海水/苦咸水淡化、物料脱盐、钢铁、湿法冶金、煤化工、石油炼化、化工分离等领域的工业废酸、废碱、高盐废水处理及资源化利用。

二、技术原理及工艺

均相膜电渗析器是利用均相离子交换膜的选择透过性，在直流电场的作用下，使溶液中的阴阳离子分别通过阳离子交换膜和阴离子交换膜，从而实现溶液的浓缩、淡化、精制及回收，也可将电解质与非电解质进行分离。均相膜电渗析器的主要部件为均相阴、阳离子交换膜，隔板与电极三部分。结构示意图如下。

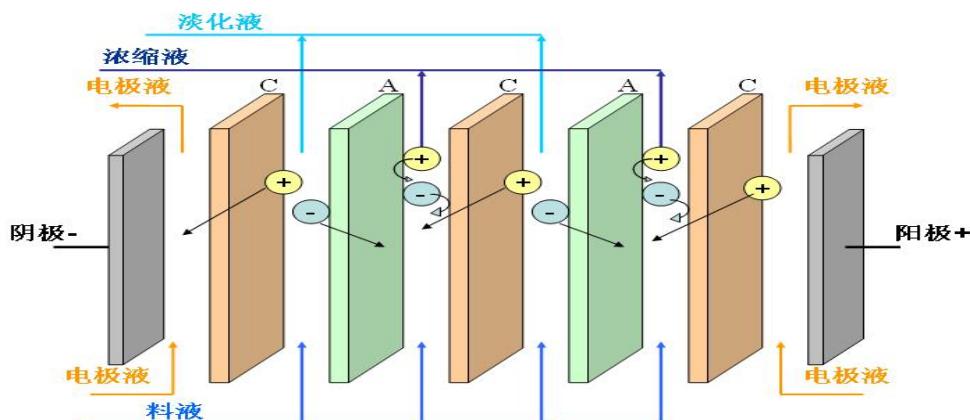


图 1 均相膜电渗析器结构原理图

三、技术指标

浓缩浓度： $\text{NaCl} \geq 180\text{g/L}$, $\text{NaOH} \geq 12\%$, $\text{H}_2\text{SO}_4 \geq 18\%$; 淡化浓度：电导率 $\leq 1000\mu\text{S/cm}$; 高盐高 COD 废水处理：浓水含盐量 $\geq 180\text{g/L}$, COD 侧淡水含盐量 $\leq 2\text{g/L}$ 。

四、技术特点及先进性

均相膜电渗析技术在工业废水处理和实现水资源循环利用方面表现出色，已成为高盐、难降解废水处理的重要技术路径之一。在高

盐废水处理方面，均相膜电渗析器可将高盐废水中的淡水部分（TDS < 1 g/L）回收再利用，回用率可达 80%以上，广泛用于工艺用水、冷却水等。浓缩液中的盐分可进一步进蒸发结晶回收，形成工业级盐或其他化工原料，实现“废物变资源”。另外，天维公司通过电渗析装备创新性设计，使高盐废水离子重组发生置换反应，将工业含盐废水变为高附加值化学品；生产中无多余废弃物产生，无需繁杂耗能的分离提纯工艺，实现绿色化生产。在医药、农药、染料等行业高盐高 COD 废水处理方面，均相膜电渗析可将废水中的无机盐与有机物有效分离，将含盐量浓缩至 180 g/L 以上，淡水侧含盐量降至 2 g/L 以下，便于后续生化或回用处理，解决了传统蒸发法易结焦、母液粘稠等问题。均相膜电渗析技术凭借其高效脱盐、低能耗、资源回收、系统灵活等优势，已成为工业废水处理和水资源循环利用领域的重要技术手段。

五、应用案例

项目名称：内蒙古自治区鄂尔多斯市杭锦旗独贵化工园区氯化钠废水资源化利用项目

项目所在地：内蒙古自治区鄂尔多斯市杭锦旗过三梁

项目概况：该项目通过均相电渗析装备实现氯化钠废水资源化利用，处理量为 400 吨/天，项目总投入 850 万元。蒸发塘高盐水经一体化泵站提升经管道进入絮凝沉淀池，絮凝沉淀+多级砂滤+离子交换+螯合树脂后，进入电渗析装备系统，浓度为 8%氯化钠废水与氨水置换，产生 120g/L 氢氧化钠及 160g/L 铵盐溶液，氢氧化钠溶液回用到化工工艺，铵盐蒸发后得到固体氯化铵化肥。该项目通过电渗析装备，将氯化钠废水转化氢氧化钠和氯化铵，预计每年减排氯化钠废水污染物 12 万吨，产品氢氧化钠新增经济效益为 1249 万元/年，产品氯化

铵化肥新增经济效益为 461 万元/年。



图 2 项目现场照片

六、推广前景

随着环保标准趋严和水资源短缺问题加剧，企业对高效、低能耗的废水处理技术需求迫切。均相膜电渗析技术凭借其低能耗、高回收率、系统灵活等优势，成为高盐废水处理和资源化利用的重要选择。目前，均相膜电渗析技术已经广泛应用于食品、医药、生物发酵、化工、锂电新能源、化工等行业的废水资源化利用及近零排放。未来三年会在全国范围内进一步推广和应用，特别是在新能源、环保、化工等行业。三年内可实现年产值 2 亿元，年销售量达到 1000 台（套），工业废水年减排量达到 5000 万吨。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：山东天维膜技术有限公司

联系人：李晓玉

联系方式：15853653182

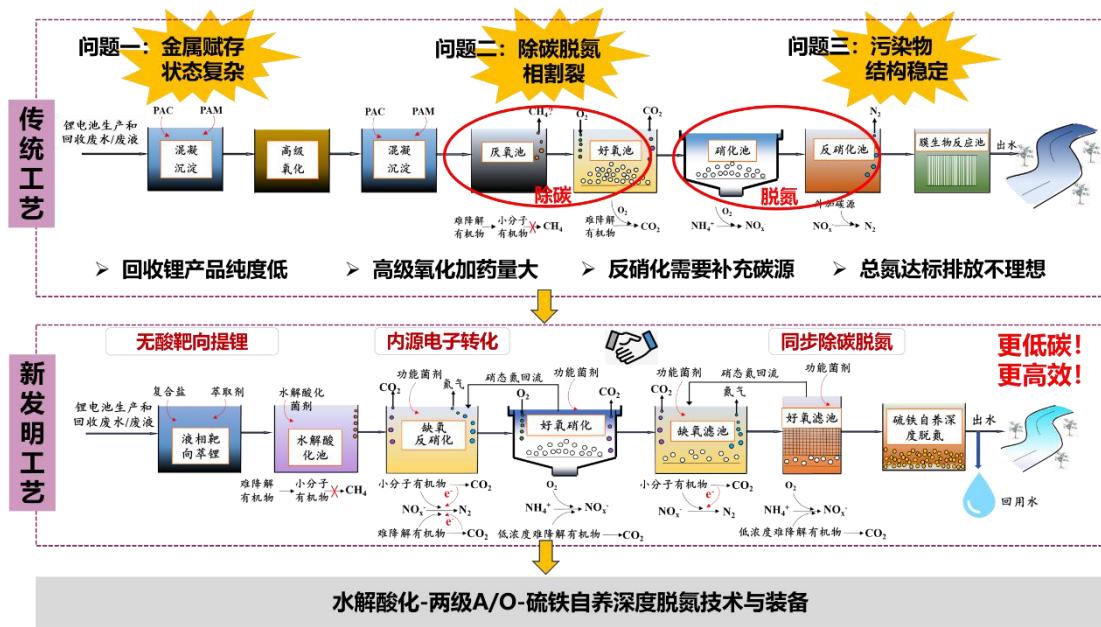
案例五：湖北臻润环境科技股份有限公司硫铁自养脱氮集成处理技术与装备

一、技术适用范围

适用于锂电池废水处理与资源化/生活污水/工业废水/垃圾渗滤液/养殖废水/河道治理等。

二、技术原理及工艺

本技术装备应用于锂电池生产废水处理中时，主要工艺包括“混凝沉淀预处理-水解酸化-两级缺氧/好氧-反硝化滤池/曝气生物滤池-硫铁自养反硝化池”。锂电池生产废水首先经混凝沉淀预处理去除废水中的石墨粉及其他悬浮物后进入水解酸化池。在水解酸化池内利用驯化成熟的厌氧菌种和 N-甲基吡咯烷酮降解功能菌剂进行复配后接种，将废水中的 N-甲基吡咯烷酮等高分子有机物进行降解；在二级缺氧/好氧+反硝化滤池/曝气生物滤池工艺单元，在二级缺氧和反硝化滤池内以 N-甲基吡咯烷酮作为电子供体，以后续好氧硝化产生的硝酸根作为电子受体，实现 N-甲基吡咯烷酮作和硝酸盐氮的同步去除；在二级好氧和曝气生物滤池内，通过 N-甲基吡咯烷酮降解功能菌群进一步实现 N-甲基吡咯烷酮的生物降解并释放氨氮，通过硝化菌群将氨氮转化为硝酸盐氮，硝酸盐氮通过回流至前端缺氧段，用作 N-甲基吡咯烷酮转化的电子受体，实现 COD、氨氮和总氮的去除；在硫铁自养脱氮池内，通过自养反硝化作用实现总氮的进一步去除。



工艺流程示意图

三、技术指标

硫铁自养脱氮集成处理技术与装备应用于锂电池生产废水时，处理水量不限，进水水质： $\text{pH} 6\sim 9$, $\text{COD}_{\text{Cr}} \leq 10000 \text{ mg/L}$, 氨氮 $\leq 200 \text{ mg/L}$, $\text{TN} \leq 800 \text{ mg/L}$, 悬浮物 $3000\sim 10000 \text{ mg/L}$ ；无需外加碳源脱氮，出水水质： $\text{pH} 6\sim 9$, $\text{COD}_{\text{Cr}} < 150 \text{ mg/L}$ 、氨氮 $\leq 30 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} < 40 \text{ mg/L}$, 悬浮物 $\leq 140 \text{ mg/L}$ ，出水达到《电池工业污染物排放标准》(GB30484-2013)排放限值。

硫铁自养脱氮装备单独应用于河道水治理时，进水水质： $\text{TN} \leq 5 \text{ mg/L}$ ，出水水质： $\text{TN} < 1 \text{ mg/L}$ （地表III类水标准）；应用于污水厂出水提标改造时，进水水质： $\text{TN} \leq 20 \text{ mg/L}$ ，出水水质： $\text{TN} < 15 \text{ mg/L}$ （一级A标准）；应用于养殖废水时，进水水质： $\text{TN} \leq 300 \text{ mg/L}$ ，出水水质： $\text{TN} < 80 \text{ mg/L}$ （畜禽养殖业水污染物排放标准）；应用于工业废水时，进水水质不限，出水水质符合相关工业废水排放标准。

四、技术特点及先进性

①开发了基于自适应进化结合梯度压力筛选原理的菌种高通量

筛选新技术，发明了系列高活性降解功能菌剂，建立了复杂水质胁迫下的生物聚集体快速形成策略，解决了 N-甲基吡咯烷酮定向转化难、生物种群培养慢、生物活性持留难的问题；②发现了影响 N-甲基吡咯烷酮生物利用及氮转化的关键因素，揭示了硝态氮电子受体与 N-甲基吡咯烷酮释氮协同的“类厌氧氨氧化”脱氮机制，提出了促进 N-甲基吡咯烷酮降解与同步脱氮的代谢偶联工艺策略，攻克了 N-甲基吡咯烷酮等低品质碳源利用难、总氮达标排放难的技术难题；③开发了不需要投加碳源的自养反硝化脱氮填料，解决了传统生化法脱氮时碳源投加量控制、运行成本及存在残留有机基质的二次污染等问题；④发明了“水解酸化-缺氧反硝化-好氧硝化-缺氧滤池-好氧滤池-硫铁自养反硝化池深度处理与回用”集成工艺，实现了锂电池行业废水/废液低碳处理与资源化新技术与工艺的工程应用。

五、应用案例

项目名称：湖北亿纬动力有限公司荆门十区锂电池生产废水站设计及施工工程

项目所在地：湖北省荆门市高新区·掇刀区

项目概况：湖北亿纬动力有限公司拟在荆门高新区·掇刀区建设 60GWH 超级工厂，占地面积约 1000 亩。项目配套建设集中式工业废水处理站（以下简称废水站）。本废水站主要电池浸泡废水、电池表面清洗废水、混合配料容器清洗废水、实验室清洗废水、清洁地面废水、含有生产废水的冷却塔定期保养排水和 N-甲基吡咯烷酮精馏废水。其中混合配料容器（搅拌罐）清洗产生的废水 COD、SS 含量较高，如处理不达标，将会对环境造成严重污染。预计锂电池生产废水产生

量：300m³/d，废水为磷酸铁锂系电池生产废水，不含重金属，废水站按24h连续运行考虑。污染物主要成分为石墨、羧甲基、纤维素钠、导电剂（碳）、NMP、磷酸铁锂、表面活性剂、电解液等，pH范围在6-9，COD≤8000 mg/L，氨氮≤30 mg/L，总氮≤650 mg/L。

该生产企业的水质情况具有如下特点：

- (1) 生产废水的水质、水量具有较大的波动性。
- (2) 车间废水中含有较多的密度较大的石墨粉，容易沉积，部分悬浮物为胶体物质，较为稳定。
- (3) 废水中含有较高的COD和TN，其中总氮主要来源于N-甲基吡咯烷酮。

项目应用后：该项目通过硫铁自养脱氮集成处理技术与装备，有效处理锂电池生产废水中的N-甲基吡咯烷酮等高污染成分，一期日均处理水量达300吨，年削减有机污染物排放折合COD约717吨，总氮58吨。处理后，出水达到《城市污水再生利用/工业用水水质》标准，用于循环冷却水系统补充，年节约新鲜用水量7.2万吨；20%浓水满足《电池工业污染物排放标准》（GB30484-2013）间接排放要求，大幅降低污染物外排风险。项目通过废水深度回用和达标排放，显著减少水体和土壤污染，缓解水资源短缺压力，推动锂电池行业绿色发展，具有突出的环境效益。

废水处理工程总投资1107万元(土建567万，设备安装540万)，建成后年节约处理成本486万元经济效益显著。通过废水回用和成本优化，降低企业用水及排污费用，提升市场竞争力。社会效益方面，项目为锂电池行业提供可复制的废水处理技术方案，助力行业绿色转型；减少污染物排放，改善周边生态环境，降低环境健康风险，增强

企业社会责任形象。此外，产学研合作模式（南京理工大学+臻润环科）培养专业技术人才，推动技术创新与产业实践结合，为行业可持续发展注入活力。



六、推广前景

随着“双碳”战略的实施，新能源汽车、锂电池、光伏产品成为我国出口“新三样”。2024年我国锂电池总产量达1170 GWh, 占全球70%以上。锂电池废水中含有N-甲基吡咯烷酮等难降解有机氮，导致有机物和总氮难以达标。传统处理依赖高级氧化技术，存在成本高、回收难、二次污染严重等问题。本技术装备针对锂电池废水中难降解污染物，突破了污染物与氮素协同转化、硫铁自养深度处理与回用等关键技术，形成低成本、短流程的低碳资源化工艺。预计未来3年内实现产业化推广，年销售30套以上、年产值超2亿元，每年可减排COD约1000万吨、总氮约10万吨，二氧化碳折算减排约300万吨，具备显著的经济、环境与社会效益。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：湖北臻润环境科技股份有限公司

联系人：何峻峰

联系方式：13986973108

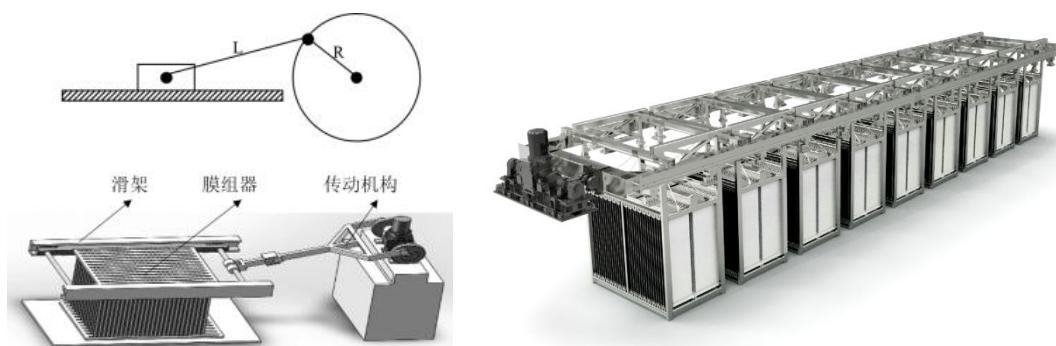
案例六：北京碧水源科技股份有限公司低能耗振动 MBR 技术装备

一、技术适用范围

低能耗振动 MBR 技术装备专门针对我国城镇污水深度脱氮除磷的需求而开发，适用于向富营养化风险高的重点湖库提供生态补水的污水处理厂、采用传统曝气 MBR 技术污水厂的提标升级，可达到水质提升与节能降耗的双重效果，实现减污降碳协同增效。

二、技术原理及工艺

低能耗振动 MBR 技术装备以膜组器水平往复运动代替膜池高强度曝气，以“动膜”代替“动水”，突破了传统曝气 MBR 膜污染控制途径，显著提升了能量利用效率。同时，利用振动 MBR 膜池低溶解氧环境促进聚磷菌、反硝化聚磷菌和反硝化聚糖菌的生长，进一步提升 MBR 工艺污水中碳源利用率，解决了膜池溶解氧高导致出水总氮去除率低的问题。



三、技术指标

可参照目录发布的技术指标样式填写，可增加文字描述及目录发布指标中未涵盖的相关指标。

针对典型城镇污水，出水水质 COD \leq 30mg/L、氨氮 \leq 1mg/L、总氮 \leq 5mg/L、总磷 \leq 0.3mg/L，优于地表水IV类标准。与传统曝气 MBR

的典型膜污染控制能耗 0.1-0.15kWh/m³ 相比，低能耗振动 MBR 技术膜污染能耗可降至 0.04kWh/m³ 以下，即膜污染控制能耗降低 60%以上，处理每吨水可减少二氧化碳排放量 0.03kg。化学除磷药剂成本可降至 0.02-0.03 元/m³。

四、技术特点及先进性

创新性采用预应力拉杆振动膜组器与“变加速度-往复式运行”的模式，以“动膜”代替“动水”的方式有效控制膜污染，突破了传统曝气 MBR 膜污染控制途径。

基于振动 MBR 膜池低溶解氧环境，研发出反硝化除磷与内源反硝化耦合的高效脱氮除磷振动 MBR 工艺，实现出水总氮下降 30%以上。开发出以低能耗振动 MBR 为核心的污水资源化全流程集成技术，针对典型城镇污水水质特点与不同污水再生利用场景需求，优选预处理与深度处理配套单元，优化全流程工艺参数，实现高品质出水。

五、应用案例

需包含项目名称、项目所在地、项目概况（如该技术装备应用前后的污染物排放情况对比，项目总投入、污染物年减排量、成本节约效果、节能效果等内容，包括但不限于上述内容）。需附与案例相关的照片

项目名称：江苏太仓市城东水质净化厂

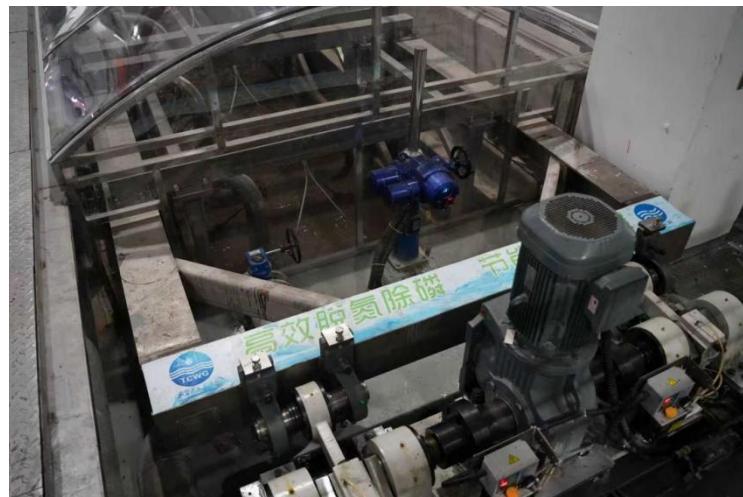
项目所在地：江苏省太仓市

项目概况：江苏太仓市城东水质净化厂占地约 160 亩，采用半地下式双层加盖建设形式，建设规模为 15 万 m³/d，其中 7.5 万 m³/d

采用振动 MBR 工艺。该项目出水水质执行《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》并满足苏州市特别排放限值。该项目于 2024 年建成通水，是当地规模最大、建设标准最高的污水处理厂，服务范围面积约 136 平方公里、服务人口约 45 万人。

太仓市城东水质净化厂采用振动 MBR 技术处理城镇污水，实际出水水质可达地表水准IV类标准，其中在不外加碳源的情况下 $TN \leq 5\text{mg/L}$ ，较要求的出水标准降低 50%以上。以 7.5 万 m^3/d 应用规模计，每年可生产高品质再生水 2737.5 万吨，每年可减少向水环境排放总氮约 110 吨。同时，振动 MBR 技术通过降低能耗的方式，可减少 CO_2 的间接排放，以 7.5 万 m^3/d 应用规模计，采用振动 MBR 设备代替传统曝气 MBR 设备，节电超过 270 万度/年，相当于减少 CO_2 排放 2100 吨/年，节省电费约 160 万元（电价按 0.6 元/度），经济优势明显。

该项目采用低能耗振动 MBR 技术装备，可获得达到地表水IV类标准以上的优质再生水，有效解决了城市发展新增污水量问题，实现了城镇污水的资源化利用，对于防治水体富营养化、保障水生态安全、实现人与自然和谐共生具有促进作用和积极意义，符合国家“碳中和、碳达峰”绿色理念，加速水务行业的节能、降碳、提质协同发展。



江苏太仓市城东水质净化厂低能耗振动 MBR 工艺单元

六、推广前景

预计未来三年，低能耗振动 MBR 技术装备在项目的应用规模可达 100 万吨/天，为技术成果持有企业新增直接经济效益超 15 亿元、新增利润超 3 亿元。以推广应用规模 100 万吨/天计算，每年可减少排放 COD 12 万吨、氨氮 1.1 万吨、总磷 0.14 万吨、总氮 1.2 万吨，每年可在运水厂节省电耗约 3000 万度、节省电费超 2000 万元（电价按 0.6 元/度计），减少间接碳排放量约 2.7 万吨。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：北京碧水源科技股份有限公司

联系人：温卫民

联系方式：15910241636

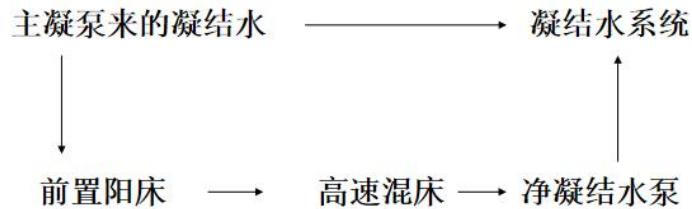
案例七：中电环保股份有限公司核电凝结水精处理系统设备

一、技术适用范围

产品适用于核电站二回路凝结水钠离子、硅等污染物处理。

二、技术原理及工艺

该装备由运行系统、再生系统组成。运行系统首次采用阳床+树脂捕捉器+混床+树脂捕捉器+升压装置+无阀旁路系统，每台机组配套一套阳床再生系统和一套混床再生系统及相应的安全控制系统和监测仪表、仪控配供电系统，并包括全部辅助系统。产品突破现有设备直径的布水装置限制，创制了首套大直径柱形阳床、高速混床，出水量提高 30%；前置阳床及混床内部构件利用流体力学原理，采用均匀滤帽布置，形成布水均匀的配水方式；集水采用不均匀布水方式，保证大流量、高流速下的布水均匀性；再生系统采用高塔分离体外再生技术，改变以往“三塔（树脂分离塔、阴树脂再生塔、阳树脂再生塔）”再生方式，增加专用的树脂储存塔，具有高分离率、高再生度、高清洁度等特点，解决传统再生方式再生频繁、树脂损失等问题，减少二次污染。产品配套基于树脂图像智能识别的凝结水精处理智能化控制系统，进一步减少再生药剂及再生用除盐水消耗、延长树脂使用寿命。产品使用年限提升至 60 年，覆盖核电机组全生命周期，大大降低核电机组运行风险。产品适配于全球全型号第三代、第四代核电机组凝结水处理系统。



三、技术指标

技术指标: 处理水量 $1089\text{m}^3/\text{h}$, 阳床及混床内树脂输送率 $>99.95\%$, 阳树脂中阴树脂体积比 $<0.08\%$, 阴树脂中阳树脂体积比 $<0.06\%$; 进水水质: 电导率 $<12.4\mu\text{s}/\text{cm}$ 、 $\text{Na}^+<50\mu\text{g}/\text{L}$ 、硅 $<30\mu\text{g}/\text{L}$; 出水水质: 电导率 $<0.06\mu\text{s}/\text{cm}$ 、 $\text{Na}^+<0.05\mu\text{g}/\text{L}$ 、硅 $<5\mu\text{g}/\text{L}$ 。

四、技术特点及先进性

核电技术凝结水精处理装备要求处理后的出水水质达到 ppt 级 ($10^{-9}\text{g}/\text{L}$) , 凝结水精处理装备可除去蒸汽中的微量杂质, 出水电导率可达 $0.06\mu\text{s}/\text{cm}$, 接近于纯水, 技术国际先进水平, 填补国内在 DN3400 柱形床装备领域的技术空白, 再生系统改变以往“三塔”再生方式, 增加专用的树脂储存塔, 解决传统再生方式再生频繁、树脂损失等问题, 减少二次污染, 填补我国凝结水处理系统再生技术短板。

五、应用案例

在国际市场, 该装备已实现了世界四大核电反应堆水处理建设的全满贯推广, 包括: 中国华龙一号、美国 AP1000、法国 EPR、俄罗斯 VVER-1000; 在国内, 该技术推广至中国所有沿海省份的核电站建设, 包括中核田湾(俄罗斯 VVER-1000)、广东 LF 项目(华龙一号)、浙江三门(美国 AP1000)等核电水处理项目, 使公司成为全国唯一一个同时为中广核、中核、国核提供服务的优质供应商。

项目名称: 田湾核电站 3、4 号机组凝结水精处理项目

项目概况：

- 1、项目地点：田湾核电站。
- 2、建设条件：项目位于江苏连云港市田湾核电站内。
- 3、建设规模及内容：就“田湾核电站3、4号机组”两台百万千瓦级核电机组的凝结水精处理系统设备建设。
- 4、主要工艺情况：通过运行系统、再生系统，配备自动控制系统确保核电站凝结水洁净。运行系统首次采用阳床+树脂捕捉器+混床+树脂捕捉器+升压装置+无阀旁路系统，再生系统改变以往“三塔”再生方式，增加专用的树脂储存塔，解决传统再生方式再生频繁、树脂损失等问题，减少二次污染。

六、推广前景

该装备通过核心装备国产化替代，大幅降低核电凝结水精处理系统采购与运维成本，相比进口设备实现显著的成本优势。运行过程中，通过智能化再生控制与设备效率提升，持续优化核电站水处理环节的能耗与物料消耗，形成长期稳定的成本节约效应。预计五年后该技术装备进一步在国内及一带一路国家地区广泛推广，持续为我国及世界核电站安全运行保驾护航，累计规模产值超30亿元，国内推广率50%以上，年节约除盐水约200万m³，节约用电约100万KWh，年消减CO₂30万吨/年。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：中电环保股份有限公司

联系人：李东阳

联系方式：18852083149

案例八：中铁环境科技工程有限公司智能化模块化高效污水处理装备

一、技术适用范围

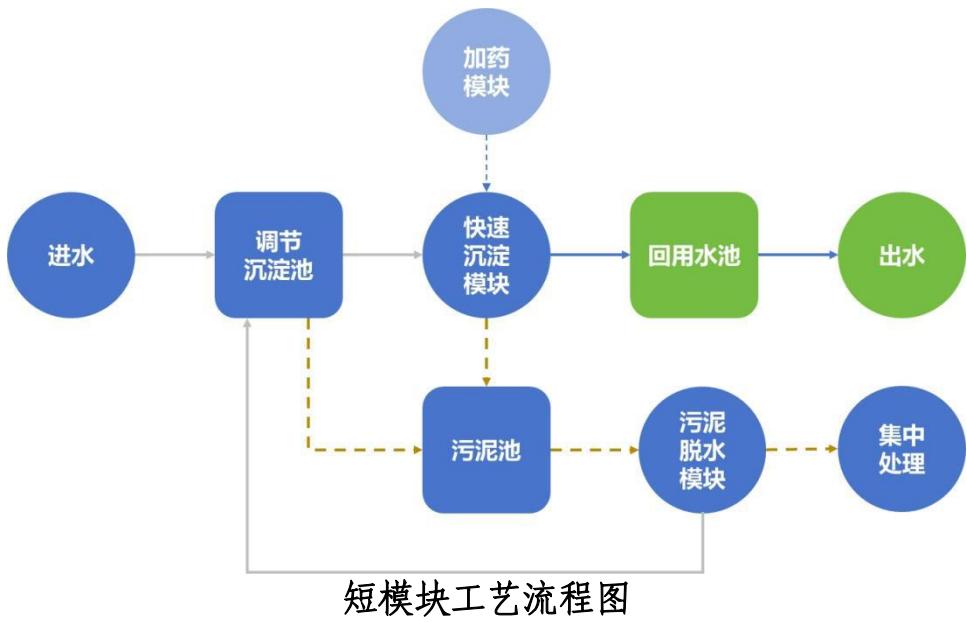
适用于城镇污水处理、河湖水环境综合治理、矿山酸性废水处理、高浓度有机废水处理，以及工程施工及运营过程中产生的各类废水，如施工废水、营地生活污水、铁路集便器废水、高速公路服务区废水等。

二、技术原理及工艺

针对传统污水处理工程长期依赖人力、处理效率低、能耗与碳排放高，难以适配“双碳”目标与行业高质量发展需求的难题，构建污水处理装备高效治理体系，开发快速生化、快速沉淀、多梯度深度处理、污泥脱水、生物除臭、自动加药等十余个可随工程周转使用的处理系统，实现装备的灵活组装与高效运行，满足应急处理和长期运营的多样化需求。



长模块工艺流程图



短模块工艺流程图

三、技术指标

生活污水：进水水质： COD \leq 500mg/L 、 NH3-N \leq 50mg/L 、 TN \leq 60mg/L 、 TP \leq 10mg/L，出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级A排放标准；

施工废水：进水水质： SS \leq 10000mg/L， pH 10-12；出水水质： SS \leq 10mg/L， pH 6-9。

四、技术特点及先进性

通过工艺高效化、工程装备化、装备模块化、模块标准化创新设计，模拟乐高积木通配组合拼装、无损拆卸重装原理，利用仿真建模设计，十余个不同功能一体化集装箱、撬装模块、钢结构标准模块进行拼接和组合，达成高效、经济、低碳、可复用目标。相较于传统工程，节约占地50%~75%、建设周期缩短50%以上、运维人员减少50%、运行成本降低20%~50%。

五、应用案例

项目名称：成都市郫都区团结镇临时应急污水处理厂项目

项目概况：项目为应急污水处理项目，摒弃传统工程模式，采用产品交付模式，3个月完成处理规模15000m³/d的污水处理厂建设。项

项目进水COD300-500mg/L、氨氮20~40mg/L、总氮40~60mg/L、总磷5~8mg/L，通过装配式污水处理厂成套技术装备及工艺，包括一体化快速生化处理装备、一体化快速澄清装备、一体化高效消毒装备、一体化加药装备、一体化污泥脱水装备等，快速高效去除COD、BOD₅、氨氮、总氮、悬浮物及总磷等污染物，处理后出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级A排放标准。



项目名称：高原铁路隧道污水处理项目

项目概况：项目采用“快速沉淀模块+多污染处理仓模块+智能管控模块”工艺路线，处理规模为100m³/h，通水即达标，达到《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)一级标准及接纳水体的相关要求。在单工点原有设施上，采用100m³/h模块化设备，相比传统模式，建设投资减少28.6%，占地减少60%，每吨水运营成本降低1元，降低38%，单工点年节约运维费用86.4万元。



六、推广前景

近年来，污水处理一直是我国生态环境保护的重点领域，污水处理厂提标改造及设备迭代更新等是“十四五”、“十五五”规划重要内容。我国进入了“减污降碳协同治理”的新阶段，环保产业需积极投入碳达峰、碳中和的实践工作中。本项目替代传统土建工程，具有低碳化、创新化、标准化和智能化的明显特点，契合当前“双碳”“节能减排”以及“新质生产力”等政策要求，符合产业高质量发展趋势。技术已在乡镇污水、应急污水、工程施工废水、铁路列车集便器废水、矿山酸性废水以及河湖水质提升等领域 30 余个项目成功应用，项目运行良好，广受业主好评。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：中铁环境科技工程有限公司

联系人：陈莎

联系方式：15575171763

案例九：广东台泉科技股份有限公司渗滤液预处理-蒸发全量化处理成套技术装备

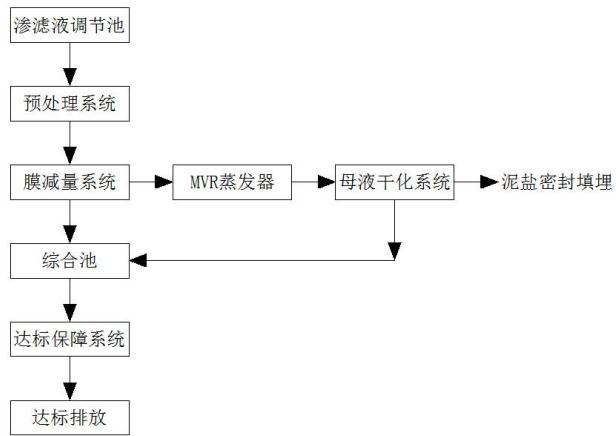
一、技术适用范围

适用于生活垃圾填埋场渗滤液废水处理及其他高盐废水的全量化处理需求。

二、技术原理及工艺

“渗滤液预处理-蒸发全量化处理成套技术装备”采用“预处理+膜浓缩减量+MVR 蒸发器+母液烘干机”的工艺路线。

垃圾渗滤液原液经调节除氮后采用“气浮沉淀+物料膜”系统预处理除油除硬并固液分离，产水再过膜浓缩减量系统，经过海淡膜和反渗透膜不断循环过滤浓缩，产水达标排放。浓缩液及预处理的浓缩液进入 MVR 蒸发器蒸发减量，最终烘干成盐泥袋装密封。实现渗滤液全量化处理。解决了渗滤液浓缩液问题。



工艺流程图

三、技术指标

处理水量：30~300t/d

进水水质：pH6-9；电导率≤80000μs/cm；CODCr≤20000mg/L；NH3-N≤8000mg/L；TN≤8000mg/L；SS≤600mg/L。

出水水质：SS： $\leq 30\text{mg/L}$ ；CODCr $\leq 100\text{mg/L}$ ；BOD5 $\leq 30\text{mg/L}$ ；总氮 $\leq 40\text{mg/L}$ ；氨氮 $\leq 25\text{mg/L}$ ；总磷 $\leq 3\text{mg/L}$ ；总汞 $\leq 0.001\text{mg/L}$ ；总镉 $\leq 0.01\text{mg/L}$ ；总砷 $\leq 0.1\text{mg/L}$ ；总铅 $\leq 0.1\text{mg/L}$ ，总铜 $\leq 0.5\text{mg/L}$ ，总锌 $\leq 1\text{mg/L}$ ，总镍 $\leq 0.05\text{mg/L}$ ，总铍 $\leq 0.002\text{mg/L}$ 。

达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB 16889-2024）表2排放标准排放，未产生二次污染，无浓缩液产生，不存在浓缩液回灌填埋场或污水设施等情况。

四、技术特点及先进性

技术特点：1、预处理+膜浓缩，后端MVR蒸发器的处理量少，整体处理成本低；2、模块化设备、安装速度快、15天可开始达标产水；3、全量化处理，无浓缩液产生。

先进性：1、模块化设备、安装速度快，3~7天到场，15天安装调试，1个月内达标产水；2、增加“气浮沉淀+物料膜”系统进行预处理，气浮沉淀可有效去除渗滤液中的悬浮物，而物料膜系统采用了两级不同的物料膜，有针对性的截留渗滤液中的大分子有机物及硬度，可大大改善后续膜系统、蒸发系统、烘干系统的污堵情况，提高处理效率；3、采用MVR强制循环蒸发器，换热器内高速冲刷，亦可大大改善蒸发器的污堵情况；MVR的换热管采用的是我司自主研发的螺旋式换热管，可以增加换热面积的同时，也提高了换热效率。4、烘干机采用的是外置式烘干固化，成功解决了换热器结垢污堵清洗频繁、清洗难度大、换热效率低等一系列问题。

五、应用案例

项目名称：东源县灯塔镇生活垃圾填埋场渗滤液全量化处理项目
项目概况：

（一）用户情况简单说明

现场进水水质情况表

指标	pH 值	电导率 (us*cm)	COD (mg/L)	氨氮(mg/L)	总氮 (mg/L)
水质情况	6-9	≤ 25000	≤ 5200	≤ 2700	≤ 2600

东源县灯塔镇生活垃圾填埋场建设项目在现有的旧址上及新增用地上进行建设，项目占地面积为 102428 m²，设计库容不小于 101.6 万 m³，填埋区有效库容为 91.44 万 m³，服务于灯塔镇及其周边镇。

根据业主要求，渗滤液要求全量化处理，处理量 200 吨/天，无浓缩液回灌，产水达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB16889-2024）表 2 排放标准。

项目应用渗滤液预处理-蒸发全量化处理成套技术装备，总投入 1384.5 万元，处理规模为产水 200T/D，我司负责安装调试及运营工作。项目运行，减少 COD_{Cr} 排放量 372.3t/a，减少氨氮排放量 187.98t/a。



六、推广前景

随着对环境要求不断提升，全国对垃圾渗滤液管控越来越严格，解决垃圾渗滤液浓缩液问题迫在眉睫。全量化是解决渗滤液浓缩液的关键技术，预计未来三年，该技术装备在全国推广率达 16% 左右，总投入约 11408 万元/年，处理渗滤液 49.6 万吨/年，年消减 COD_{Cr} 3918.4 t/a，年消减氨氮 979.6 t/a。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：广东台泉科技股份有限公司

联系人：江金阳

联系方式：13531653802

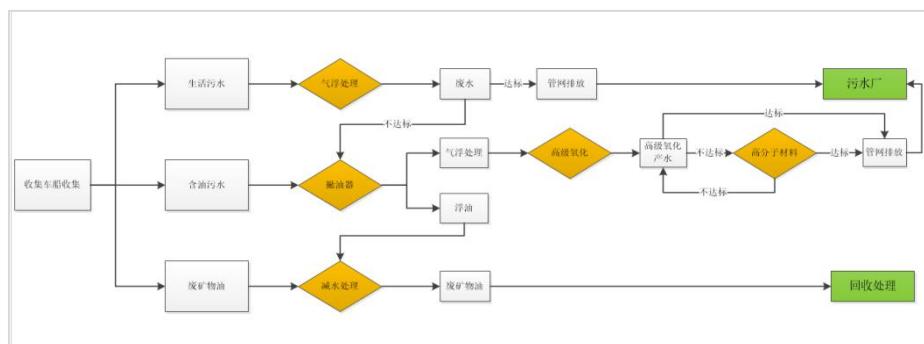
案例十：浙江蓝景科技有限公司船舶水污染物智能处理装备

一、技术适用范围

船舶水污染物智能处理装备“海洋云仓”适用于沿海港口码头、海上作业平台、内河航道、渔业作业区及生态环境敏感区域等场景，可对油污水、废矿物油、生活污水、船舶垃圾等各类船舶水污染物进行智能化收集、无人化处置、全流程追溯。

二、技术原理及工艺

本装备按照“分类存储—预处理减量—深度处理—应急保障—达标排放”的技术路线，工艺采用“密闭旋流气浮+臭氧高级氧化”双级主处理：含油污水经篮式过滤后进入储存系统，通过密闭旋流气浮单元高效去除大于 85% 的悬浮物和乳化油（停留时间 $\leq 5\text{min}$ ，溶气压力 0.3–0.4MPa），纯物理破乳，无化学药剂投加，不产生含油污泥；出水进入臭氧高级氧化单元，在紫外/催化作用下生成羟基自由基($\cdot\text{OH}$)，矿化残留有机物，确保 COD 稳定达标；排水前经自动调节单元将 pH 值调节至 6–9；辅以自研的高分子材料“超级泡沫”应急吸附模块，当在线监测发现石油类含量超标时自动启动，保障出水石油类 $\leq 15\text{mg/L}$ ，提升系统可靠性，全流程由 PLC+智能控制系统管理，实现无人值守自动化运行。



三、技术指标

进水水质：适用范围内无特殊限值要求；

出水标准：（1） $6 \leq \text{PH} \leq 9$, $\text{COD} \leq 500 \text{mg/L}$, $\text{SS} \leq 400 \text{mg/L}$, 石油类含量 $\leq 15 \text{mg/L}$; （2）PH、COD、SS 含量符合 GB 8978-1996《污水综合排放标准》三级标准，满足城市污水处理厂纳管要求；（3）石油类排放控制符合 GB3552-2018《船舶水污染物排放控制标准》，满足内河与沿海船舶污染物排放要求。

四、技术特点及先进性

本装备具备三大系统性创新：一是首创“工程设备化”路径，将传统水污染治理工程集成于标准集装箱撬装模块（存储、预处理、深度处理仓等），实现快速部署、灵活扩容，破解选址难、建设周期长、投资成本高等难题；二是深度融合“智能+”技术，构建“物联终端+区块链+多模态数据分析”架构，实现全流程数据实时采集、远程运维、智能调度与电子联单区块链存证，数据不可篡改、过程可追溯；三是支撑“蓝色循环”新型治理模式，通过“三色码”等数字化激励机制，联动政府、企业、渔民共建共治，形成“收集—转运—处置—资源化”全链条闭环。装备集成高效低耗工艺，处理效率高、能耗低、占地省，出水稳定达标，推动船舶污染物治理模式、技术路径与运维体系的全方位变革，整体技术达到国际先进水平。

五、应用案例

项目名称：台州市海洋废弃物数字化治理项目

项目概况：在椒江、温岭、玉环等 6 个沿海县（市、区）部署

50 台“海洋云仓”，搭建数字化管理系统，构建“蓝色循环”数字化治理体系。系统集成物联网、区块链技术，配套开发移动端 APP 并接入“浙里办”，实现船舶水污染物申报、接收、转运、处置一站式运营，以及全流程数字化追溯，自动生成不可篡改的“电子五联单”，实现船舶污染物有效监管。



实施效果：项目自 2019 年启动、2022 年全面运营以来，累计完成船舶水污染物收集服务 23,768 次，收集各类污染物 7311 吨，实现含油污水、生活污水、废矿物油及海洋塑料废弃物的网络化收集、自动化处理、全过程智慧监管与资源化利用。项目实施后，船舶水污染物纳管率接近 100%，监管效率提升 94%，非法排放行为显著减少；近岸海域漂浮垃圾密度大幅下降，符合第一二类海水水质面积占比稳定提高，生物多样性回升，公开报道中江豚、中华鲟等珍稀物种观测频率上升。

六、推广前景

“海洋云仓”作为“蓝色循环”模式核心装备，集工程设备化、数字智能化与多方协同化于一体，有效破解船舶污染物“收集难、监管难、成本高、数据不透明”等痛点，获国家专利密集型产品认定。“蓝色循环”模式 2023 年荣获联合国“地球卫士奖”，2024 年入选国务院《中国的海洋生态环境保护》白皮书典型案例，具备国家级示范效应。目前已部署 66 台设备，服务港口 113 座，纳管船舶约 1.3 万艘，设备及服务订单超亿元。正在海南全省部署、山东与广东等地推广。计划未来 3 年覆盖 70% 重点渔港，拓展至工业石化及商业港口，并落地韩国、新加坡等海外市场，可实现销售装备 200 台以上，年产值超 5 亿元，年污水能力达 40 万吨、可再生废塑粒子 3 万吨，具备规模化复制价值。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：浙江蓝景科技有限公司

联系人：周一帆

联系方式：13777380026

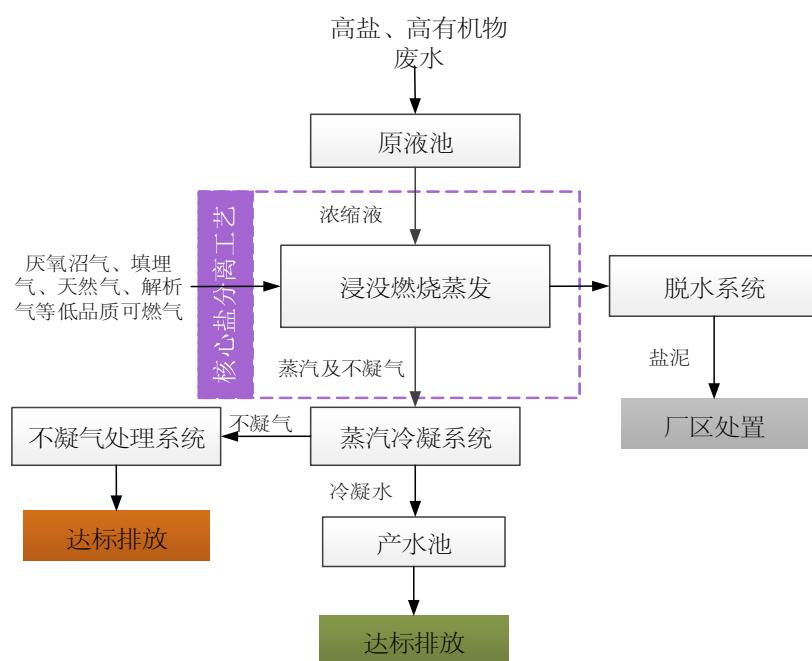
案例十一：北京水木湛清环保科技集团有限公司浸没燃烧蒸发装置

一、技术适用范围

适用于化工、市政、冶金、电池等行业产生的含有高盐、高有机物（难生物降解）工业废水处理。

二、技术原理及工艺

浸没燃烧蒸发（Submerged Combustion Evaporation, SCE）技术又称液中燃烧蒸发技术，是一种无固定传热界面的蒸发技术。该技术以高盐、高有机物废水为原液进入浸没燃烧蒸发系统中，以厌氧沼气、填埋气、天然气、解析气等低品质可燃气作为能源，通过气体燃料在液体亚表面增压浸没燃烧，并通过特殊的结构形成超微气泡，超微气泡与废水直接接触进行加热、蒸发，实现溶质和溶剂分离，去除水体中的大部分有机物及电导率；蒸发产生的冷凝水达标排放或回用；不凝气经处理后达标排放；盐泥进行分装资源化处置。工艺流程详见下图：



浸没燃烧蒸发技术工艺流程图

三、技术指标

浸没燃烧蒸发装置可根据处理量差异，实现模块化与集成化设计。高盐高有机物废水进水 COD 浓度约为 50,000-200,000mg/L；TDS 浓度为 600,000-800,000mg/L。经浸没燃烧蒸发装置处理后出水 COD 浓度 \leq 50mg/L；TDS \leq 1000mg/L。系统电耗低于 20kW · h/吨，传热效率高达 95%以上，浓缩倍数可达 20-30 倍，可连续稳定运行 \geq 8000h。

四、技术特点及先进性

无传热间壁，不结垢。燃料在液体亚表面增压浸没燃烧，形成大量超微气泡，增加了传热表面积，与废水直接接触换热。同时由于没有固定传热面，不存在传热面上结晶、结垢和腐蚀等问题。特别适合于腐蚀性强、粘度高、易结晶结垢且难生物降解的高盐高有机物废水。

浓缩程度高，单体实现结晶可针对不同原水水质实现高倍浓缩，进而实现盐分结晶，并同步促使有机盐泥共同析出。依托浸没燃烧蒸发器的无间壁传热机理，有机、无机污垢不会对换热效率产生影响，浓缩倍数可达 10-20 倍甚至更高，最终实现结晶盐泥的完全析出。

无需预处理，工艺流程简单。对进水水质没有要求，耐冲击负荷强，可直接用于处理高盐高有机物废水。

传热效率高。燃料在液体亚表面增压浸没燃烧，产生数量巨大的超微气泡，大大的增加了传热面积，同时因为超微气泡与浓缩液直接接触换热，热损失率非常低，传热效率高。

五、应用案例

项目名称：新乐市生活垃圾填埋场扩容提质工程项目

项目所在地：河北省新乐市

项目概况：新乐项目属于 2018 国家重点研发计划“固废资源化”

专项“存余垃圾无害化处置与二次污染防治技术及装备”项目之课题五。项目总投资 8400 万元，包含填埋场扩容改建及垃圾渗滤液全量化处理。垃圾渗滤液采用“膜生物反应器（双级 A/O+MBR）+纳滤+抗污染反渗透+超低压反渗透”的处理工艺；纳滤和反渗透系统产生的膜浓缩液采用“预处理+高压反渗透+浸没燃烧蒸发（含余热利用）”的处理工艺，设计处理量为 200t/d，该垃圾渗滤液经处理后出水可达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB16889-2024）表 2 排放标准。该项目于 2020 年 12 月建设，2021 年 11 月完成竣工验收，稳定运行至今。

该项目中浸没燃烧蒸发装置凭借填埋气与浓缩液直接接触换热的方式，使浓缩液中的盐分和有机物完成高倍浓缩，蒸发产生的冷凝水中 TDS 去除率达到 95%，COD 去除率达到 90%以上。运行过程中，利用填埋气作为热源，以废治废，能耗成本降低 40%以上，每年可节省能源费用超 150 万元。同时，相比依赖化石能源的传统蒸发工艺，浸没燃烧蒸发装置处理相同量的浓缩液，每处理 1 吨浓缩液可减少二氧化碳排放约 0.3-0.5 吨。该装置设备结构简单紧凑，减少了初期建设成本，相比传统蒸发设备可节省约 30%的基建投资。



六、推广前景

浸没燃烧蒸发装置采用突破性的无间壁换热设计，彻底消除传统间壁式蒸发器的传热屏障，使其在处理高盐、高有机物废水时，能有效避免盐分与有机物在换热表面沉积，从而杜绝结垢、结焦问题，大幅降低设备维护成本与停机风险。并且传热效率高达 95%以上，远超传统间壁式蒸发器 75-85%的水平。高传热效率使其浓缩倍数可达 20-30 倍，极大提升了废水处理的效率。同时，装置可利用垃圾填埋气、工业废气等低品质可燃气为燃料，真正实现以废治废，显著降低运营成本。单台（套）浸没燃烧蒸发装置总投资成本约在 600-1000 万元。因高效传热蒸发特性，相比传统蒸发设备可降低蒸汽消耗 30%-40%，以年处理 $100m^3/d$ 规模的废水项目测算，每年可节约能源成本约 150-200 万元。同时，减少盐泥处理量约 20%，降低污泥处置成本约 30-50 万元。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：北京水木湛清环保科技集团有限公司

联系人：唐欣

联系方式：13146031282

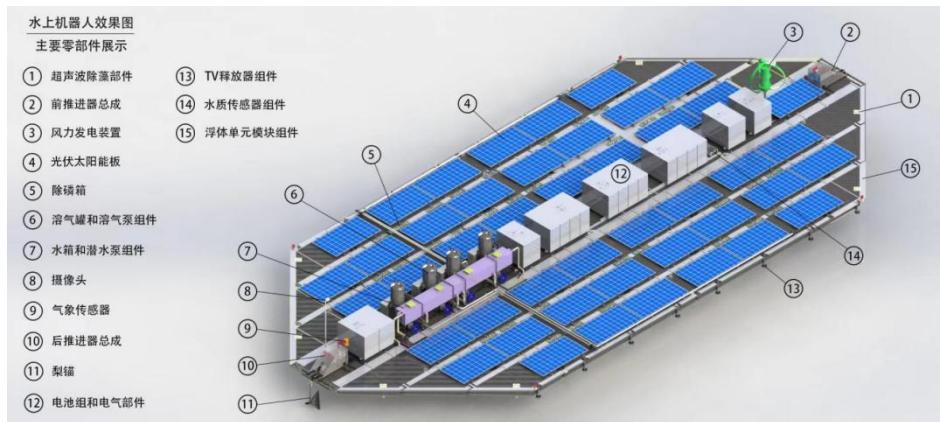
案例十二：武汉永清环保科技工程有限公司湖库污染修复智慧管控关键装备

一、技术适用范围

适用于水污染防治领域平均水深不小于 1.0m 的城市内陆湖库水污染治理及智慧管控。

二、技术原理及工艺

湖库污染修复智慧管控关键装备主要由自主发现、自主巡航、自动寻污、自动治理、网格化定点作业结构模块；铁碳内电解-微纳米多相流富氧化-微生物耦合持续协同移动降解模块；吸附除磷模块；微纳米气泡富氧模块；微生态自循环富氧缓冲带模块；过滤净化（除藻）模块；供能及浮体模块等七大模块构成。工艺上对于内陆湖库闸口、排口、溢流口和地表径流“死水区”因吃水深度不足，主要采取传统生态修复工艺（水生植物修复、透水围隔等），经传统工艺处理后的污水在汇入湖库深水区后由湖库污染修复智慧管控关键装备再次深度处理，该装备作为传统工艺的一种补充，建立“监测-治理-数据-平台”立体化的智慧环保在湖库水体修复应用方向上的新思路。最大化保证城市内陆湖水生态修复治理的环境效益。



三、技术指标

进水指标: COD: 30~75mg/L、 $\text{HN}_3\text{-N}$: 1.0~3.0mg/L、TP: 0.4~0.5mg/L、TN: 1.0~2.5mg/L 及 DO: 2.0~5.0mg/L；出水指标: COD: 10~30mg/L、 $\text{HN}_3\text{-N}$: 0.8~1.2mg/L、TP: 0.16~0.3mg/L、TN: 0.4~1.2mg/L 及 DO: 4.0~6.0mg/L；处理量: $1920\text{m}^3 \sim 2400\text{m}^3/\text{d}$ ·台，满载续航 8~10h/d；运行平均水深大于 1.0m，风浪等级小于 10 级。降雪量小于 300mm，航速 10~15km/h，水流平均流速小于 0.8m/s，设备污染物平均去除效率 $\geq 72.6\%$ 。

四、技术特点及先进性

湖库污染修复智慧管控关键装备集“监测-巡航-治理-预警”等功能为一体，依托轻浮体智能化平台，融合大数据分析，采用太阳能供电体系，利用物理和生物修复相结合方式，全过程不引入化学药剂及外源污染物，传统能源消耗降低 95%以上，构建出水污染动态化持续协同修复治理体系，高效化实现低碳修复、清洁治理。

五、应用案例

1) 应用项目一名称: 鄂州市鄂城区洋澜湖上湖和小桥港生态综合治理工程

水质污染状况: 参照《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)，水质为 V 类或劣 V 类，以 V 类为主。

污染物: COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 及其他有机物。

治理目标: 促进水体环境质量达《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) III类。

应用起止时间：2024 年 9 月至今

应用效果：装备自 2024.9.28 使用以来，降氮除磷模块工作后在无来水情况下水质好转明显。洋澜湖水质提升，初期雨水洋澜湖水质污染现象好转；雨后恢复期（3-5 天）生态排口处理单元内水质基本与湖水水质相当；藻类水华的爆发得到抑制。水质透明度增加，水质明显提升。装备使用约 1 周后在 2024.10.8 时检查氨氮数值大幅下降，装备 2025.4.27 日以后总磷因子降低且稳定为 III 类水质，总体水质从 2024.5.6 日开始长时段稳定为 III 类水质。

2) 应用项目二名称：北湖小港整治工程二期工程

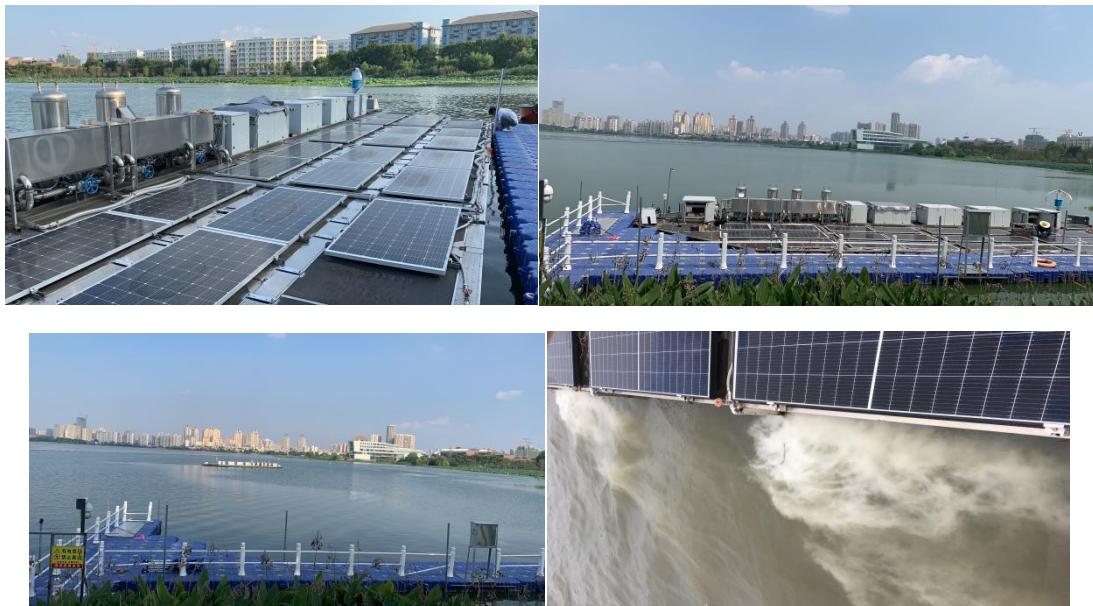
水质污染状况：参照《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002），水质为 V 类或劣 V 类。

污染物：氮、磷。

治理目标：实现 COD 和氨氮等主要指标达《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）IV 类标准，其他指标稳定达到 V 类的水质。

应用起止时间：2021 年 7 月 26 日至 2021 年 12 月 26 日

应用效果：装备自 2021.7.28 使用以来，降氮除磷模块工作后在无来水情况下水质好转明显。北湖水质提升，初期雨水入港黑臭现象好转：雨后恢复期(3-5 天)生态排口处理单元内水质基本与港渠内水质相当；藻类水华的爆发得到抑制。水质透明度增加，还有白鹭等栖息，水质明显提升。装备使用 1 周后在 2021.8.3 时检查不到氨氮数值，装备 2021.10.27 日以后总磷因子降低且稳定为 IV 类水质，总体水质从 2021.11.6 日开始持续稳定为 IV 类水质，实现既定目标。



六、推广前景

随着城市内陆湖库污染问题频发，治理难度大，可持续性不高等一系列重大问题，该装备具备广阔的应用前景，预计未来3年可实现，该装备在长江流域（湖北段）个城市内陆湖库普及率达25%，总投入约56160万元，污染物削减量 COD_{Cr}: 35707kg/a, NH₃-N: 9828.82kg/a, TP: 1121.78kg/a。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：武汉永清环保科技工程有限公司

联系人：柯垚

联系方式：15797264925

案例十三：天津万峰环保科技有限公司污水臭氧催化氧化深度处理系统成套装备

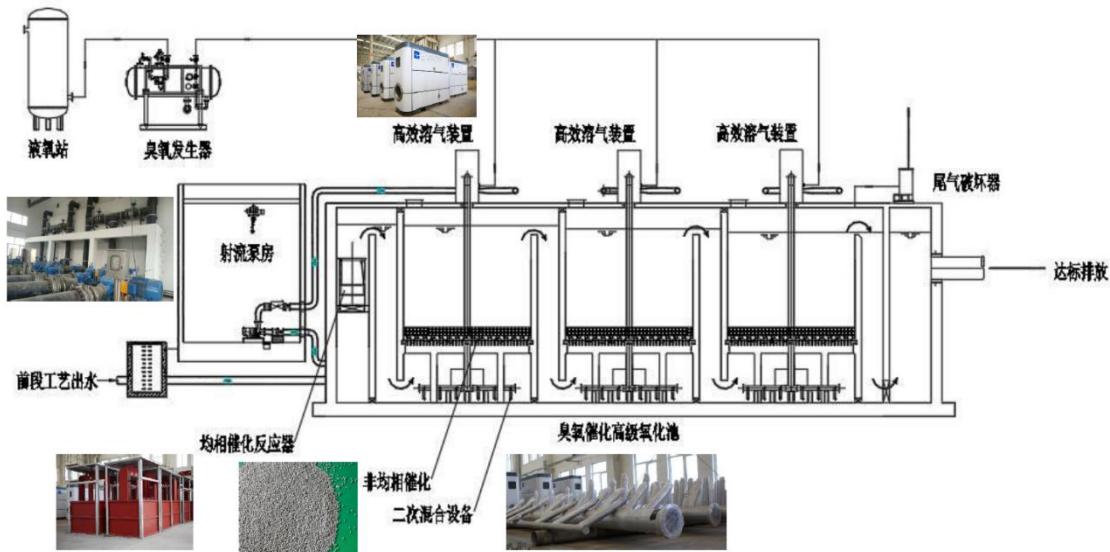
一、技术适用范围

本技术装备适用于新建和改造的城镇给排水处理、工业废水处理以及河道水的处理工艺中。主要针对工业水达标，高标准出水和再生水等。

二、技术原理及工艺

臭氧氧化有两种方式，一种是由 O_3 分子或单个 O 原子直接参与反应引起；另一种是由 O_3 分解产生的·OH 引起。水处理过程中以羟基自由基（·OH）作为主要氧化剂的氧化过程被称为 AOPs 过程也就是高级氧化技术。·OH 的 E 为 2.8 eV，仅次于 F(2.87 eV)，是水中存在的最强氧化剂，几乎无选择性地和废水中的污染物发生反应，将甘油、乙醇、乙酸等 O_3 不能氧化分解的一些中间产物彻底矿化为 CO_2 和 H_2O 。 O_3 在催化剂的作用下，使得臭氧、水分解出大量羟基自由基，在催化剂表面发生界面反应，利用羟基自由基与有机化合物之间发生的加合、取代、电子转移、断链和破坏等化学过程，从而将水中大分子、难降解的长链有机物氧化成小分子物质，同时使不可降解成分转化为可降解成分，继而通过后续设备实现有机物的最终去除。

污水臭氧催化氧化深度处理系统成套装备特色主要体现在两方面：一是高效臭氧溶气系统，二是高效催化系统。



工艺流程图

三、技术指标

进水水质：COD_{Cr}: 50mg/L~150mg/L, SS≤10mg/L, pH:6-9;

出水水质：COD_{Cr}: 30mg/L~50mg/L, SS≤10mg/L, pH:6-9, 出水

COD 浓度完全符合甚至优于国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002) 中一级 A 标准的排放水质要求。

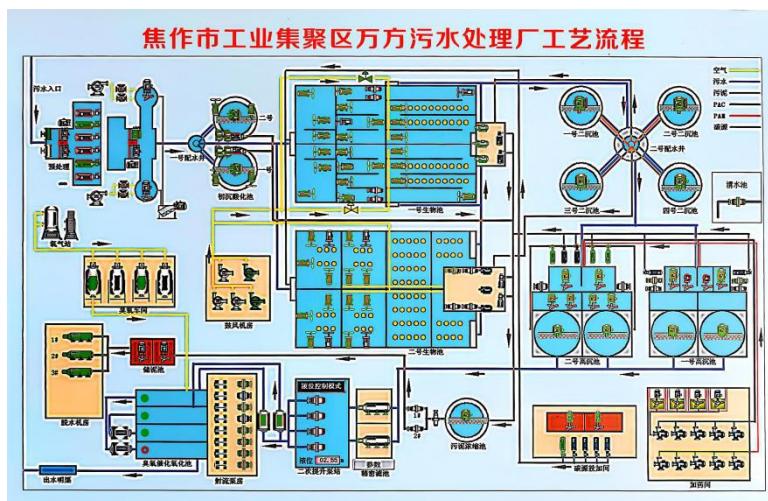
四、技术特点及先进性

公司核心产品“污水深度处理臭氧催化高级氧化成套系统”属于生态环境保护领域主要应用污水深度处理过程，实现污水高标准超净排放及资源化利用。该技术聚焦污水处理行业的“难点”、“痛点”、“堵点”，着力解决臭氧氧化技术中存在的臭氧的利用率低、能耗高、高级氧化效果弱、出水达标稳定差等问题，遵循“节能、降耗、减污、增效”原则，通过臭氧与催化剂作用产生具有超强氧化能力羟基自由基，实现有机污染物的彻底矿化或分解。其优点是投资少，运行成本低，混合效率高，能够很大程度提升臭氧在污水中的溶解效率。

五、应用案例

项目名称：焦作万方污水处理厂扩建提标项目

项目概况：该案例主要处理的废水为生物制药废水，每日处理污水量为 50000 m^3 ，采用污水臭氧催化氧化深度处理技术，为提标后的污水处理厂完善了处理工艺缺陷，提高了污水中 COD 的处理效率，降低了能源物资的消耗，大大减少了污水处理厂的投资和运营成本。水厂出水 COD 范围约为 $25\sim46\text{ mg/L}$ ，满足出水水质指标 $\text{COD}\leq50\text{ mg/L}$ ，完全可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）一级 A 的标准。在污水处理过程中，难降解有机物被氧化，最终生成 CO_2 和 H_2O ，不会产生二次污染物。



污水厂整体工艺流程图

六、推广前景

本技术产品在达到预计推广比例后，将促进节能减排、环境友好型社会的发展，由于本产品对臭氧的利用率极高，因此在能源的消耗上节约了电能继而减少了因燃煤发电而产生的污染物，也减少了氧气的使用量；设备占地面积小，能够为污水处理厂有效的减少土地负担，

能有效利用有限的土地资源；设备在运行过程中不产生废气、固废等污染物因此不会对环境造成二次污染；再生水利用是人类与自然协调发展、创造良好水环境、促进循环型社会发展进程的重要举措，经污水臭氧催化氧化深度处理设备处理达标排放的水可以作为再生水很大程度上缓解水资源短缺的问题，水环境的良好循环继而对土壤、气候/大气产生积极影响。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：天津万峰环保科技有限公司

联系人：王春华

联系方式：18512273842

案例十四：中国长江三峡集团有限公司工业废水非完全催化氧化深度净化技术装备

一、技术适用范围

适用于印染、纺织、石油、化工等重点行业难降解工业（工业园）废水深度净化处理。

二、技术原理及工艺

本技术装备基于非均相催化氧化原理，通过分段投加适量的 H_2O_2 和 $FeSO_4$ ，内部填充多金属负载催化剂，形成多个催化位点的 Fe^{2+} ，强化表面活性中心加速 Fe^{2+}/Fe^{3+} 循环；本技术突破了传统高级氧化技术对有机物完全矿化去除路径，通过控制较温和反应条件（如 pH 5.0-5.5，ORP 200-400 mV，反应时间 5-20 min），在弱氧化作用下将有机物局部转化成羧基化、醛基化等中间产物，再与金属盐形成络合物富集，实现聚合分离，从而实现更经济、更广谱的深度净化。

三、技术指标

控制指标：进水水质：经二级处理后 COD 80-200 mg/L, TP 0.5-3.0 mg/L, SS<100 mg/L，以及含有如长链烷烃、多环芳烃等大分子难降解有机物(分子量>1,000 Da, B/C<0.1)；出水水质：COD<40 mg/L, TP<0.1 mg/L, SS<10 mg/L，优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002) 一级 A 排放标准。

性能指标：非完全催化氧化反应 pH 5.0-5.5、ORP 200-400 mV；催化氧化反应时间 5-20 min；多金属负载催化剂填充率 20%-30%，单位处理成本相比芬顿、臭氧等高级氧化技术降低 30%以上。

四、技术特点及先进性

本技术装备开发的基于 $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ 的非完全催化氧化技术，一方面对反应过程 pH 范围要求降低，仅为 5.0~5.5，避免了大幅酸碱调节，节省了药剂成本；另一方面基于非完全矿化去除，催化氧化反应速度快，在 5-10 min 便可达到理想的污染物氧化效果，而且络合物富集效率高、去除有机物种类更广。本项目极大节省工程占地和投资，每万吨处理规模占地低于 1500 m^2 ，单位投资低于 800 元/吨，深度净化直接成本可低至 0.8 元/t。

五、应用案例

项目名称：重庆涪陵白涛潘家坝污水处理厂

项目所在地：重庆市涪陵区白涛工业园区

项目概况：重庆涪陵白涛潘家坝污水处理厂位于长江上游重要的化工生产基地-涪陵区白涛化工园内，主要处理白涛化工园区内石油化工、医药等各类难降解工业废水，尾水排放至长江一级支流——乌江。该厂一二期工程（2 万吨/天）深度净化单元采用芬顿氧化工艺，执行《重庆市化工园区主要水污染物排放标准》(DB 50/457-2012) 标准 ($\text{COD}<80\text{mg/L}$)，由于二沉池出水 COD 浓度较高 (120-150mg/L) 且波动范围很大，现场芬顿氧化工艺投加药剂量大、运行成本高，深度净化直接处理成本 8.21 元/吨。

自本技术装备应用以来，出水 $\text{COD}<40\text{mg/L}$, $\text{TP}<0.1\text{mg/L}$ ，优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002) 一级 A 排放标准要求，深度净化单元直接处理成本从之前的 8.21 元/吨降低至

1.68 元/吨，年节省费用超 7,000 万元。COD 削减量达 657 t/年，TP 削减量达 5.48 t/年，碳减排效益达 236.5t/年，取得了显著的生态环境效益。



图 项目现场照片

六、推广前景

未来 3 年本技术装备预计新增应用项目 3-5 个，覆盖石化、制药、印染、纺织等重点行业，普及率达 10%-20%（当前 <5%），累计销售量达 25 台(套)，年产值达 1.25-2.5 亿元。预期工程应用规模>30 万吨/天，可削减 COD 5,475 吨/年，通过节省构筑物建设、节约能耗

和物耗等，实现间接碳减排 CO₂当量 1,971 吨/年。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：长江经济带生态环境国家工程研究中心

联系人：柳蒙蒙

联系方式：18813012008

(三) 固体废物处理

案例一：江苏乐尔环境科技股份有限公司垃圾焚烧飞灰资源化制备岩棉的技术与设备

一、技术适用范围

垃圾焚烧飞灰资源化综合利用。

二、技术原理及工艺

飞灰含有二噁英、重金属等有毒物质，且具备高盐特性，导致填埋处理存在环境风险隐患。本工艺通过水洗脱盐去除飞灰中的氯离子、通过除重金属及高温固化抑制重金属浸出、通过低温热解或高温熔融工艺彻底分解飞灰中的二噁英，从而实现飞灰彻底无害化。通过工艺设计协同，同步产出岩棉等高价值资源化产品，降低综合处置成本。

飞灰经过称量后，进入低温热解系统脱毒，而后进行制浆和循环增浓水洗实现脱氯。滤液经过除重除硬和分质提盐后，得到副产品石膏和钾钠盐。水洗后的洁净飞灰可直接制成建材制品，也可进行动态配料后进入高温熔融炉彻底焚毁二噁英，熔体经离心成纤、集棉固化、包装裁切最终制成高价值岩棉产品。



三、技术指标

可参照目录发布的技术指标样式填写，可增加文字描述及目录发布指标中未涵盖的相关指标。

(1) 设备运行：飞灰水洗脱氯工艺水灰比 1: 1。高温熔融工艺熔融温度 $\geq 1400^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 污染物去除效果：低温热解后洁净飞灰二噁英类残留量 $<50\text{ng-TEQ/kg}$ ；高温熔融后岩棉制品二噁英类残留量 $<1\text{ng-TEQ/kg}$ ；水洗后飞灰可溶性氯含量 $<2\%$ ；水洗后飞灰重金属浸出浓度满足 GB8978-2002《污水综合排放标准》。

(3) 资源化产品质量：岩棉产品热荷重收缩温度 $>650^{\circ}\text{C}$ ；纤维平均直径 $\leq 6.0\mu\text{m}$ ；酸度系数 >1.6 ；渣球含量 $\leq 7.0\%$ 。氯化钠符合 GB/T5462-2015《工业盐》中日晒工业盐一级指标。氯化钾符合 GB6549-2011《氯化钾》中I类合格品指标。

四、技术特点及先进性

列举技术特点或可体现技术先进性的相关内容，并做简要描述

(1) 循环增浓水洗系统可高效脱氯，实现飞灰中可溶性氯含量 $<2\%$ ，自研水洗专利技术可将水灰比从 3: 1 降至 1: 1，大幅降低后端工艺能耗和综合成本。

(2) 飞灰专用熔融炉可彻底焚毁飞灰中的二噁英，并通过晶相转变固化重金属防止浸出，基于飞灰特性设计的专用熔炉可连续运行 8000 小时，结合自研动态配料系统可稳定产出高质量岩棉。

五、应用案例

(1) 基础信息

项目名称：环保资源化设备应用示范项目

项目所在地：南通市通州区

(2) 项目概况

①技术装备与处置能力

项目集成“低温热解炉 + 智能增浓水洗设备 + MVR 蒸发系统 + 全流程智能控制系统”的飞灰处置生产线，年处置生活垃圾焚烧飞灰 3 万吨（日均约 100 吨）。装备自动化率达 95% 以上，关键参数（热解温度 350-500°C、氧含量≤1%）控制精度 ±5°C，设备年稳定运行 300 天，将南通市飞灰资源化率从 3.02% 提升至 33.02%，大幅缓解区域填埋压力。

②污染物排放对比

指标	传统工艺情况	本项目装备应用后情况
二噁英	填埋存在释放风险	低温热解炉分解率 ≥95%，高温熔融彻底分解。远优于 HJ1134-2020 限值；
重金属	稳定固化有一定年限，长期可能污染土壤或地下水	直接去除或者完全晶格固化，可浸出氯 <10%
氯盐	完全不去除，泄漏存在盐碱化风险	智能水洗设备脱氯率 >98%，含氯量降至 0.96%
废水	加水和药剂稳定化，扩容 >25% 进入填埋	MVR 系统冷凝水回用率 ≥90%，无工艺废水外排。

③减排、节能与成本效果

年碳减排 1.12 万吨 CO₂ (3 万吨环保砖替代黏土砖减碳 7500 吨、2 万吨水洗灰替代砂石减碳 2200 吨、规避填埋减碳 1500 吨)；年节约用水 4.3 万吨(废水回用 1.3 万吨 + 智能水洗节水 3 万吨)、减少标煤消耗 500 吨 (MVR 余热回用率超 80%)，还减少填埋用

地 1.5 万平方米。成本方面，飞灰综合处置成本降低 30%，成功将“成本中心”转化为“收益中心”，推动行业从“付费填埋”向“循环经济”转型。



六、推广前景

简要描述推广前景，不超过 300 字，尽量包含未来 3 年内可实现的年产值、年销售量、主要污染物年减排量等信息。

该技术装备实现了垃圾焚烧飞灰的彻底无害化与高效资源化，兼具综合处置成本低和能源利用效率高等优势，经济性与环保效益显著，填补区域高端飞灰资源化处置空白，符合国家“无废城市”及危废“趋零填埋”政策导向，具备规模化复制能力和广阔的推广前景，形成可复制示范模式，为长三角乃至全国飞灰处置提供可复制的技术示范方案。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：江苏乐尔环境科技股份有限公司

联系人：程小康

联系方式：13681635976

案例二：浙江环兴机械有限公司低碳节能型污泥喷雾干化焚烧处置成套技术装备

一、技术适用范围

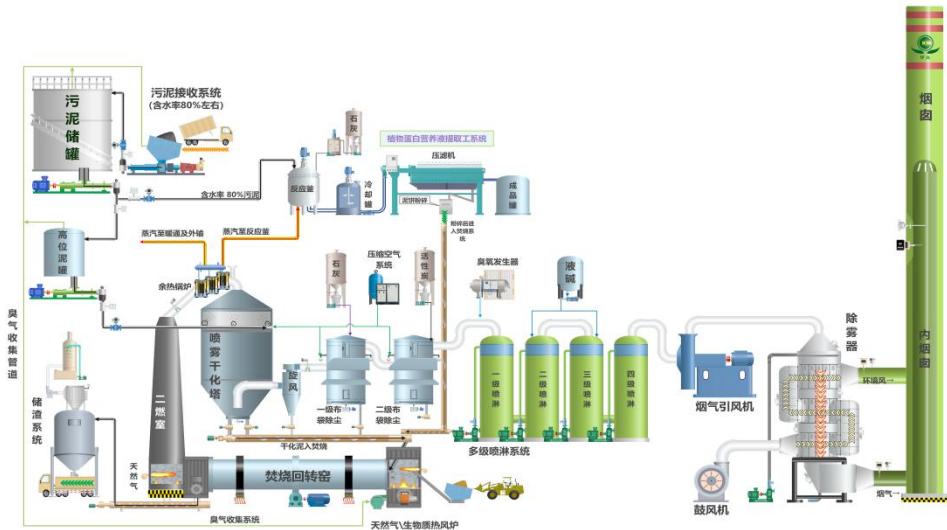
主要用于污水处理以及河道清淤等产生作为一般固废污泥的干化焚烧处理。

技术原理及工艺

该技术装备的核心理论原理：能量守恒定律。污泥干化就是水吸热蒸发的过程，如何将热量最大程度地进行利用，减少热损耗就是污泥干化的核心。

针对水处理产生的作为一般固废的 80%左右含水率污泥，通过该装备技术，减量约 92%以上，剩余 8%的焚烧残渣可作为水泥添加剂、建筑行业原材料，进行综合利用。污泥一站式综合处理率 100%，处理产生的废水回到污水处理站进行处理后达标排放，焚烧烟气执行《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485-2014），经过烟气处理系统处理后，达标排放。

该技术装备是由污泥封闭式输送和储存系统、污泥植物蛋白营养液资源回收利用预处理系统、污泥喷雾干化系统、回转窑焚烧系统、余热利用系统、工业固废/生物质协同焚烧系统、烟气净化系统、智慧型自动化控制系统等组成。



(低碳节能型污泥喷雾干化焚烧处置成套技术装备工艺流程图)

技术指标

单线处理能力 100~500t/d, 喷雾干化温度 500~650°C, 烟气排放温度 100~110°C, 干化后污泥含水率≈25%, 焚烧温度≥850°C, 炉渣热灼减率 < 5%, 污泥减量达 92%以上。

四、技术特点及先进性

1、真正实现污泥“减量化、资源化、稳定化、无害化、无烟化”处理处置，一般情况下，污泥减量化达 92%以上，剩余灰渣可作资源化利用；

2、喷雾干化工艺热利用效率高，干化能力强，可瞬间将污泥含水率从 80%干化至 20~25%；

3、整体装备系统呈微负压状态，污泥处理过程中无臭气外溢，整体污泥处理环境整洁良好；

4、尾气排放低于国家排放标准，部分指标优于欧盟工业排放指令《2010/75/EC》标准；

5、本技术装备采用工业固废/生物质作为辅助热源，代替原有干化焚烧工艺所需传统煤、天然气等能源，同时解决了工业固废/生物质焚烧烟气难处理等二次污染问题，在降本节能减碳的基础上，真正实现了“以废治废”；

6、技术装备已实现污泥植物微生蛋白成功提取，不仅进一步降低后续污泥处置成本，所提取的微生蛋白可作用于农业种植、盐碱地改良以及园林绿化等；

7、本技术装备实现全程自动化控制，在控制室即可一站式解决污泥处置问题。

8、截至目前，已在国内外推广应用多个示范工程，日处理规模合计超 8000 吨，有效配套解决了多地脱水污泥和工业固废处置难的环保问题，避免对环境和生产造成严重污染，市场占有率为高。

五、应用案例

(一)项目概况

业主单位：安吉净源污水处理有限公司

建设地点：安吉县城北污水处理厂东北侧

污染特征：主要为城北污水处理厂产生的污泥

建设期（年）：0.8 年

工程规模：290 吨污泥/日

项目投入运行时间：2021 年 9 月

项目验收单位：浙江省环境科技有限公司

验收日期：2021 年 10 月

(二) 实施内容

项目应用在“绿水青山”理论发源地浙江安吉，项目应用前，该地区污泥主要拖运至水泥厂掺烧处理，存在环境污染隐患。采用我司技术应用后，“漂亮、简洁、去工业化”是该污泥项目最为直观的印象，实现了对污泥的“减量化、无害化、稳定化、资源化、无烟化、自动化”的处理处置，污泥减量化达到92%以上，项目产生的灰渣，实现了建材资源化利用，尾气排放不仅符合国家《GB18485-2014》排放标准，部分指标还优于欧盟工业排放指令《2010/75/EC》标准。项目实施过程按照建设项目环境保护“三同时”的有关要求，基本落实了环评报告书和批复中要求的环保设施与措施，运营期产生废水、废气、噪声排放达到国家相关标准要求，固体废物处置合理。废水中各项污染物排放总量和环评及批复总量控制要求。现已完成竣工验收，目前运行情况良好。



六、推广前景

十四五”期间新增污泥无害化处置设施规模2万吨/日，到2025年污泥处置率达90%以上，这意味着未来污泥处置市场非常大，本技术装备为固体废弃物（污泥）处理的“减量”、“减碳”和“资源循环利

用”提供了一条技术可行、经济可行和环保可行的循环之路，凭借公司技术装备优势以及在全国各地建立多个应用工程，预计三年后，国内市场占有率将提升至 31%以上，总投入超 10 亿，处理污泥量累计可达 313 万吨，在行业内具有显著的环境、经济和社会效益，应用推广前景良好。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：浙江环兴机械有限公司

联系人：颜春霞

联系方式：15968805661

案例三：四川君和环保股份有限公司页岩汽油基岩屑资源化综合利用装备

一、技术适用范围

适用于石油/天然气开采所产生的钻井岩屑和废弃钻井泥浆以及石油开采和联合站贮存产生的油泥和油脚的处置（属《2025 版国家危险废物名录》里面的 HW08 废矿物油与含矿物油废物）

二、技术原理及工艺

物料进入中温无氧蒸馏装置内进行油、水和岩屑的分离，装置压力-200Pa，隔绝氧气间接加热至 320-400°C，油、水完全受热并蒸发成高温混合蒸气。高温混合蒸气经高效油蒸气清洁系统后除去粉尘，然后将洁净的高温油水混合蒸气输送至冷凝器冷却成油、水混合液体。再采用三相离心机对混合液体进行油水分离，分离出的油进入储罐储存，分离出的水进入污水处理系统处理。经无氧蒸馏装置分离油水组分后的高温岩屑干渣经出料口干渣通道进入到冷却设备，通过水环壁冷机、水泥管式螺旋输送机进行冷却后，由输送设备输送至干渣库进行储存。

三、技术指标

无氧蒸馏装置压力：-200Pa；无氧蒸馏温度：320°C-400°C；单机处理量：10 万吨/年；柴油回收率：99.7%-99.9%，回收油品质达到《炉用燃料油(GB 25989-2010)》中的馏分型标准；处置后干渣含油量<0.3%，达到《天然气开采含油污泥综合利用后剩余固相利用处置标准》(DB51/T2850-2021)要求。

四、技术特点及先进性

该技术装备通过独创的在线防结焦技术、高效油蒸气清洁技术、多温度区温度精准控制、组合密封技术等多种技术组合，解决了目前国内外油污泥处置能耗高、二次污染严重、原油回收率低、系统不稳定、单机处置效率低、无法大规模应用的问题，通过绿色、低碳的方式实现了含油污泥高价值资源综合利用。

创新点及先进性：

1、单机处理能力大，系统运行稳定

可规模、持续、高效的对含油污泥进行处置，实现单机处置规模10万吨/年。

2、基础油回收率达99.7%，达《炉用燃料油(GB 25989-2010)》中的馏分型标准，可替代燃料，为整个生产线提供热源。

3、绿色、低碳、低能耗、低成本。

物料处置过程为全密闭纯物理过程，不添加任何药剂和化学物质，绿色生产，原料仅为含油污泥，没有额外资源消耗。能源消耗种类为电、工业用水，处理能力按10万吨/年计算，年消耗电能最大量为255.2万千瓦时（折合标准煤320吨）。

五、应用案例

项目名称：四川绿之峰科技发展有限公司犍为县废弃资源综合利用项目一期

项目概况：2020年，四川君和环保股份有限公司投资1.3亿元在四川乐山犍为孝姑工业园区成立全资子公司—四川绿之峰科技发展

有限公司，建设油基岩屑资源综合利用技术产业化应用示范项目。首台“页岩油气基岩屑资源化综合利用装备”于 2021 年正式投运，从投运至今，所有技术指标均达设计要求，可规模、持续、高效的处置油基岩屑，燃料全部使用回收油，不新增能源消耗。为中石油西南油气田分公司、中石化西南油气分公司等单位提供油污泥处置服务，截止到 2024 年，已完成 19 万吨油基岩屑处置并确认收入 21869 万元，实现税收 1600 余万元。

通过绿色、低碳的方式实现危险废物高价值资源综合利用，变危废为宝，助推油气田发展绿色循环经济。



六、推广前景

未来，我们将以示范项目为基础，通过投资新建处置产线或设备外售的方式，将油污泥全组分高价值资源综合利用技术覆盖到油、气井油污泥处置行业中，预计到 2028 年，可新增危废处理能力 40 万吨，新增产值约 4 亿元。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：四川君和环保股份有限公司

联系人：蔡敏平

联系方式：13208338388

案例四：中冶南方都市环保工程技术股份有限公司焦炉煤气脱硫废液焚烧制酸技术装备

一、技术适用范围

冶金焦化行业脱硫过程中产生的脱硫废液的资源化利用。

二、技术原理及工艺

采用料浆流态化进料和多介质焚烧炉进行高温燃烧，由预处理工段来的粗盐料浆和硫磺料浆，被分别送入多介质焚烧炉，经高温压缩空气在粗盐料浆喷枪和硫磺料浆喷枪内高效雾化后喷入多介质焚烧炉内，在高温条件下燃烧分解。

多介质焚烧炉内燃烧温度控制在 $1000 \sim 1100^{\circ}\text{C}$ ，设置一套余热回收装置，含一台立式余热锅炉本体、除氧给水、吹灰系统，回收烟气余热产生蒸汽。烟气经余热锅炉后的高温预热器，温度降至 $\sim 340^{\circ}\text{C}$ 进入制酸系统，制备浓硫酸。

三、技术指标

关键技术：多原料稳定化预处理技术；高效清洁焚烧及余热回收技术；稀酸废水减量及净化回用技术；浓硫酸净化及高品质硫铵生产技术。

主要技术指标：SO₂ 转化率： $\geq 99.8\%$ ；硫酸浓度： $\geq 98.0\%$ ，符合 GB/T534-2014 一等品指标；制酸尾气进口参数：尾气颗粒物 $\sim 50\text{mg/Nm}^3$ ，SO₂ $\sim 800\text{mg/Nm}^3$ ，NO_x $\leq 150\text{mg/Nm}^3$ ，制酸尾气出口排放指标：尾气颗粒物 $\leq 20\text{mg/Nm}^3$ ，SO₂ $\leq 30\text{mg/Nm}^3$ ，NO_x $\leq 150\text{mg/Nm}^3$ 。

四、技术特点及先进性

将废盐、硫磺分别进行预处理之后形成料浆，通过雾化喷枪加入多介质焚烧炉内，充分燃烧产生高温烟气。高温烟气依次经过余热锅炉、预热器降温后进入制酸工段，生产 98% 浓硫酸，制酸后尾气依次经过换热器、尾气处理系统处理之后，通过烟囱达标排放。

五、应用案例

项目名称：广西盛隆冶金有限公司焦化三期焦炉煤气脱硫副产物利用项目。

工程规模

广西盛隆冶金有限公司焦化厂的产生固态粗盐及固态硫磺副产物，副产物产量如下：

项目	固态粗盐产量 (吨/天)	固态硫磺产量 (吨/天)	备注
范围	32~37	12~20	按年运行 8000h 计
均值	35	16	

该焦化副产的粗盐和硫磺存在一定的堆放和处理困难等问题，另外，焦化厂硫铵工序生产耗用硫酸（98%）的缺口量约为 2.5 万吨 / 年。

本工程回收利用上述焦化脱硫过程产生的全部粗盐，并根据厂内硫酸的缺口量，掺烧一定量的硫磺，建成一条可年产量浓硫酸（以 98% 计）2.5 万吨的生产线及配套附属工程，满足焦化厂硫铵工序正常生产的硫酸缺口需求。

项目主要运行技术指标:

- 1、制酸转化率: $\geq 99.8\%$;
- 2、硫酸浓度: $\geq 98.0\%$, 符合 GB/T534-2014 一等品指标;
- 3、尾气排放指标如下表:

序号	项目	指标
1	尾气颗粒物	$\leq 20 \text{mg/Nm}^3$
2	尾气 SO ₂	$\leq 30 \text{mg/Nm}^3$
3	尾气 NO _x	$\leq 150 \text{mg/Nm}^3$

项目效益情况

通过本项技术的运用，可以将焦化厂产生的脱硫废液焚烧转化成浓硫酸用于焦化厂硫铵工序，变废为宝，解决了焦化厂粗盐和粗硫磺堆放和处理困难等问题，同时满足焦化厂硫铵生产硫酸缺口需求，具有良好的社会效益和经济效益。

对于年产 2.5 万吨硫酸的项目，年处理危险废弃物粗盐约 12000 吨/年，年处理危险废弃物粗硫磺约 5100 吨/年，变废为宝，焚烧炉可实现不烧煤气运行；稀酸废水回用至硫铵工段无外排；尾气排放指标优：SO₂: 30mg/Nm³, NO_x: 150mg/Nm³。

本项目的建设将提高企业资源综合利用率，减少了企业外购浓硫酸及蒸汽，降低了企业生产成本，每年为企业节省外购浓硫酸成本 1500 万元，蒸汽产值约 300 万元，有利于促进产业升级、提高竞争力，有助于促进地区的经济社会发展，有利于可持续发展目标的实现。工程对当地政府节能减排有积极作用，对企业有资源综合利用提高经

济效益的积极影响。

六、推广前景

本技术研究焦炉煤气脱硫废液资源化，开发低品质硫磺及焦化脱硫废液焚烧制酸工艺。既满足了当前环保政策要求，解决了焦化企业的废弃物无害化处理，又资源化回收副产品，提高了企业的经济效益，降低了企业环保负担，产业化前景良好。

另外本技术减排效果明显，尾气排放指标优， SO_2 排放浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$ ，颗粒物 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ ， $\text{NOx}\leq 150\text{ mg}/\text{m}^3$ 。

预计 2028 年本技术市场普及率达 40%-50%，处理焦化废盐 50 万吨，行业总投资规模将达 30~50 亿元，单个项目投资回收期 5-6 年，副产硫酸回用到焦化硫酸铵工序可降低硫酸铵成本 20%，全行业年增收超 10 亿元。

案例五：江苏久吾高科技股份有限公司钛石膏资源化利用技术成套装备

一、技术适用范围

应包含适用的行业/领域或特殊应用场景，以及应用效果（如除尘、烟气多污染物协同处理、设备升级改造等）。

应用领域：本装备适用于钛白化工、钢铁、冶金等行业的固废处置及酸性废水处理，产出的高品质石膏产品在建筑建材、陶模、精密铸造及 3D 打印等多个下游领域应用前景广阔。

应用效果：本技术可将石膏品位提高到 90%以上，钛石膏附着水降低至 12%以下，可溶性镁、钾、钠均满足脱硫石膏 GB/T 37785-2019 二级标准。通过低温慢烧技术制备成的建筑石膏粉其性能达到 GBT9776-2022《建筑石膏》最高等级 3.0 指标，制备的 α 高强石膏，其性能达到 JCT2038-2010《高强石膏》最高等级 α 50 指标。

二、技术原理及工艺

简要描述技术原理及工艺，附工艺流程图或技术原理图等，需单独提供较为清晰的电子版图片。

本装备采用“膜集成 + 中和长晶 + 脱水 + 低温慢烧”组合工艺处理钛石膏，流程高效且资源化利用率突出：先通过超滤膜回收酸性废水中的偏钛酸，再经纳滤膜分离硫酸亚铁（回用于生产）与稀硫酸；净化后的稀硫酸进入中和长晶工序，经石灰石、生石灰中和至 pH 7-8，添加专用结晶剂促使钛石膏形成大颗粒粗块状晶体，随后送入脱水工序。脱水后，中性废水经沉降达标外排或循环回用，钛石膏固体则进入低温慢烧环节，通过桨叶烘干机 + 流化煅烧机两步法煅烧，脱除 1.5 个结晶水转化为半水石膏产品，可直接外销或进一步深加工成石

膏制品。

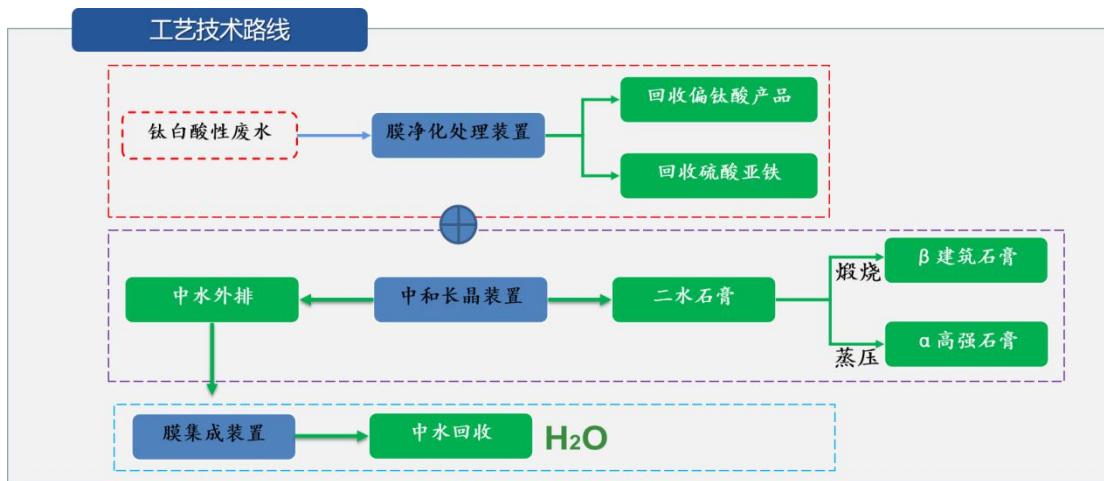


图 1 钛石膏资源化综合利用的工艺流程图

三、技术指标

可参照目录发布的技术指标样式填写，可增加文字描述及目录发布指标中未涵盖的相关指标。

1、采用膜净化技术将钛白酸性废水中的悬浮物降低至 1ppm 以内，亚铁离子降低至 200ppm 以内；

2、通过中和长晶技术使钛石膏晶体粒径增长至 60μm 以上，石膏品位提高到 90% 以上，钛石膏附着水降低至 12% 以下，可溶性镁、钾、钠均满足脱硫石膏 GB/T 37785-2019 二级标准；

3、通过低温慢烧技术制备成的建筑石膏粉其性能达到 GBT9776-2022《建筑石膏》最高等级 3.0 指标，制备的α高强石膏，其性能达到 JCT2038-2010《高强石膏》最高等级α50 指标。

四、技术特点及先进性

列举技术特点或可体现技术先进性的相关内容，并做简要描述

1、自主研发出“膜集成技术+中和长晶技术+低温慢烧技术”的钛石膏资源化利用技术，填补国内空白，获得国家发明专利，产品性能达到国际先进水平，属于国内首创；

2、解决了传统钛石膏品位低、含杂量大、颜色差的问题，将钛石膏品位由 65%-80% 提升至 90% 以上，白度由 20 左右提升至 80 以上；

3、解决了传统钛石膏晶体粒度小，游离水含量高的问题，将钛石膏晶体粒度分布由 $5\mu\text{m}-20\mu\text{m}$ 提升至 $60\mu\text{m}-100\mu\text{m}$ ，游离水含量由 40%-60% 降低至 8%-15%；

4、解决了传统钛石膏只能少量作为水泥添加剂而不能深加工成具有市场竞争力产品的问题，可以将钛石膏煅烧成 β 建筑石膏（产品指标符合 GB/T 9776-2022，2h 抗折 $\geq 3.0\text{MPa}$ ），加工成高附加值 α 高强石膏（产品指标优于 JCT 2038-2010，2h 抗折 $\geq 6.0\text{MPa}$ ），同时还能加工成其他高标准的熟石膏产品，扩宽和延伸了钛石膏上下游产业链。

五、应用案例

项目名称：徐州钛白化工有限责任公司“钛石膏资源化项目”

项目所在地：江苏省徐州市

项目概况：项目日处理钛白酸性废水达 4000m^3 ，每年可多副产七水硫酸亚铁 5.7 万吨，减少石灰用量 2.5 万吨，削减钛石膏填埋量 23 万吨，年创造直接价值 4025 万元，扣除运营成本后年节约费用约 1000 万元。同时，项目年产建筑石膏粉 8.5 万吨，产品品质（S 级）优于 GB/T 9776-2022《建筑石膏》2.0 等级标准，已成功应用于山东傲达新型建材有限公司、徐州虚竹建材科技有限公司等多家企业，累计为下游客户创造经济效益 5000 万元，实现了“废水资源化、固废减量化、产品高值化”的三重突破。

六、推广前景

简要描述推广前景，不超过 300 字，尽量包含未来 3 年内可实现的年产值、年销售量、主要污染物年减排量等信息。

未来三年，公司积极布局四川、山东、江苏等钛白行业集中地区，重点在铂悦先进材料（苏州）有限公司、济南裕兴化工有限责任公司、四川德阳龙蟒钛业股份有限公司等十余家硫酸法钛白企业进行产业化推广，依托 EPC、BOT 及 BOO 多种经营模式进行建设和运营，规模覆盖 20 条标准化产线，形成年消减钛石膏 460 万吨能力。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：江苏久吾高科技股份有限公司

联系人：丁邦超

联系方式：15077886925

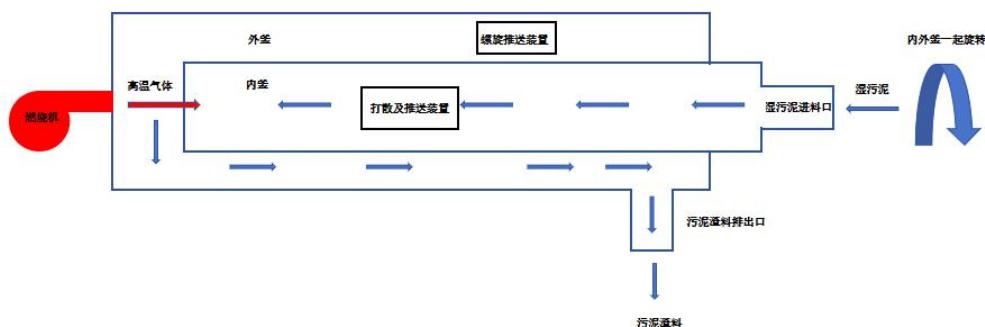
案例六：仁天环保科技有限责任公司污泥干化碳化处理一体化装备

一、技术适用范围

适用于城镇生活污泥的减量化、无害化及一般固废的处理

二、技术原理及工艺

本装备技术原理为利用内外双釜回转结构，在釜内打散与螺旋叶片等装置及旋转运动的作用下，对污泥进行打散与推送；同时辅助热源提供的高温气体与污泥进行换热，将污泥进行干化碳化处理。独特的内外双釜结构使污泥在外釜中被推送的同时释放热能对内釜中的污泥进行预热，使装备的热效率高于普通污泥处理装置。



技术原理图

三、技术指标

城镇生活污泥处理前的成分为：含水率一般 80%，固体成分主要由有机残片、细菌菌体、无机颗粒、胶体等组成，其中有机残片、细菌等占 40%左右。

经过装备处理后，污泥的含水率可降至 10%以下，有机残片、细菌等的含量降至 0，污泥减量化率可达 89%，减量化效果显著，同时实现了 100%的无害化处理。由于治理后的渣料能够完全被资源化利用，因此资源化利用率亦达到 100%。

该装备排放的废气满足《恶臭污染物排放标准》(GB14554-1993)和《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2014)的一级标准；排放的废水则符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A标准。

经过该装备处理后的碳化污泥，其基本控制指标及限值、重金属含量均符合《城镇污水处理厂污泥处置土地改良用泥质》(GB/T24600-2009)和《城镇污水处理厂污泥处置制砖用泥质》(GB/T25031-2010)的相关泥质标准规定。

四、技术特点及先进性

设备的主要技术特征如下：

- 1、该装备具备将含水率为80%的污泥脱水至10%以下的能力，单套装备的处理能力可达到100吨/天。
- 2、装备及运行成本经济，装备成本低至10万元/吨，运行成本低至200元/吨左右。
- 3、脱水过程无需添加药剂，无二次污染，各种排放均符合标准，适合在居民区进行处理。处理后的渣料无毒、无害、无臭味，可作为制砖厂、水泥厂等原材料使用。
- 4、可根据效率与能耗权重设置目标含水率，实现自主智能控制。
- 5、利用污泥自身潜热辅助脱水，有效降低能耗。对于处理含水率从80%降至10%的污泥，辅助热源天然气消耗量约为56立方米/吨，电能消耗约为12度/吨。

五、应用案例

- (1) 项目名称：怀化市市本级污泥处理处置项目

(2) 项目概况:

- 1、业主单位：怀化市水业集团有限公司
- 2、项目总投及处置规模：总投资 2.3 亿人民币、日处理 150 吨。
- 3、项目地址：怀化市城东污水处理厂内
- 4、运营时间：2025 年 4 月 1 日。
- 5、经营方式：仁天环保科技有限责任公司投资建设并运营，运营期限 15 年。

(3) 项目内容及效益

污泥来源为厂外 80%的污泥和城东污水厂厂内 98%的污水，两者经过调理后，通过板框压滤至 60%的污泥，然后进行热干化至 5%以下，渣料运输至水泥厂或砖厂进行资源化利用。

每日消化 150 吨含水率 80%左右的污泥，不用另行填埋，直接彻底减量，其尾端渣料全部资源化利用。整个过程无害化，所排尾气达标（周边为居民区）。产生的污水回流至污水厂进行循环利用。



六、推广前景

市面上尚无一种将预脱水（即板框压滤脱水至 60%~70%）、次深度脱水（脱水至 30%~40%）、协同处理等三个过程融为一体的，投资少且运行成本低的装置，我司的污泥高效脱水及处理设备正好填补了此空白。

预测三年后污泥高效脱水及处理设备将在全国范围内可安装运行 100 套，设备总的销售收入可达 10 亿元，每年的运行收入可达 12 亿元。利税合计 6 亿元以上。

三年后每年实现的污染物(含水率 80%污泥)减排量为 300 万吨。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：仁天环保科技有限责任公司

联系人：吴子信

联系方式：13574760400

案例七：湖南锐异资环科技有限公司多源重金属危废协同资源化关键技术

一、技术适用范围

有色金属冶炼危废的综合回收与资源化利用。

二、技术原理及工艺

技术原理：

针对有色金属多源危废种类多、成分复杂，稀贵金属回收难，烟尘率高、铅锌直收率低，砷高度分散、富集开路难等技术难点。本技术采用氧化-还原-烟化连续熔炼与分级精炼，实现多金属梯度回收。

熔炼过程采用黄铁矿协同氧化熔炼降低能耗，研发了低 PbO 活度的五元渣系和含砷烟气高温电收尘智能化装备，铅、锌直收率显著提高；利用污酸协同浸出高砷烟尘制备三氧化二砷，实现含砷危废全流程消减与资源化利用。

技术工艺：

多源重金属危废协同资源化关键技术的技术路线如图 1 和图 2 所示。采用重金属危废与黄铁矿协同熔炼技术和富氧侧吹三联炉工艺，回收 Pb、Bi、Cu、Sn、Sb、Zn、Au、Ag、In 等有价元素，将砷定向从还原炉烟气中开路，再利用污酸协同浸出制备高纯氧化砷。

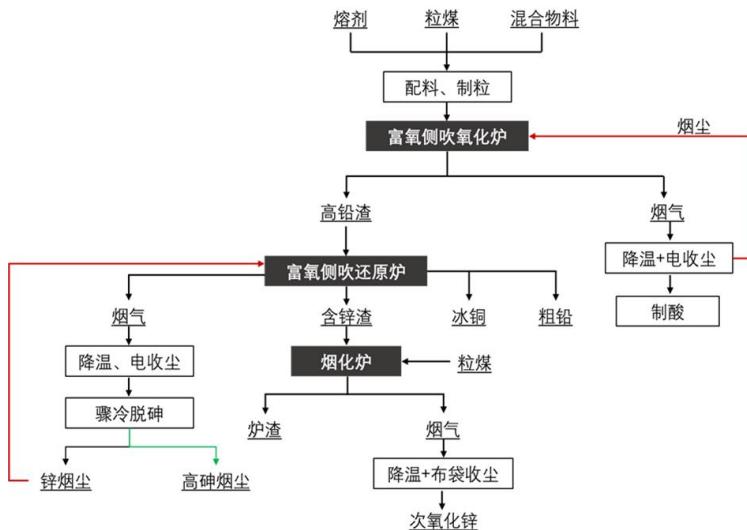


图 1 多源重金属危废协同熔炼工艺流程图

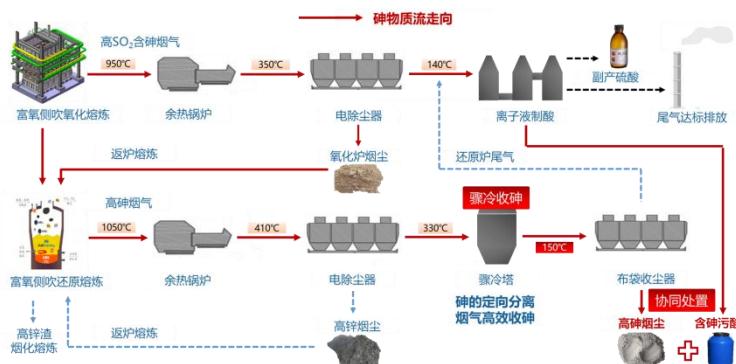


图 2 砷资源化利用工艺流程图

三、技术指标

协同熔炼系统: 床能率 60~80 t 料/(m²·d)、熔炼温度 1000~1200 °C、单位综合能耗 < 300 kgce/t 料、多金属回收率 > 95 %、粗铅直收率 75 %~85 %、锌直收率 75 %~85 %、尾渣含 Pb < 0.2 %、Zn < 0.5 %、Cu < 0.1 %。砷资源化系统: 砷浸出率 > 95 %、砷综合回收率 > 94 %、氧化砷纯度 ≥ 98 %。

四、技术特点及先进性

1. 揭示了各金属元素在协同熔炼-分级精炼过程中的迁移规律, 通过渣-金性能调控, 强化各组分在不同物质流间的定向分配, 开发了

复杂多金属强化分离-分组梯度回收技术。

2. 构建了低 PbO 活度的高硅低钙型 FeO-SiO₂-CaO-PbO-ZnO 五元渣系，通过降低渣中铅活度抑制其挥发，最终将铅以合金形式高效直收；开发了含砷烟气高温电收尘智能化装备，将高锌烟尘与砷分段收集，实现高锌烟尘直接返炉最终从烟化炉氧化锌中高效直收锌。

3. 开发了氧化砷的定向挥发-气相骤冷凝聚分离工艺，实现熔炼烟气中砷的高效脱除，并将砷定向富集于污酸与还原炉骤冷高砷烟尘；利用污酸协同浸出高砷烟尘制备三氧化二砷，实现全流程含砷危废的消减与资源化利用

五、应用案例

项目名称：湖南腾驰环保科技有限公司 20 万 t/a 多源重金属危废协同资源化关键技术示范

项目地址：湖南省郴州市永兴县经济开发区柏林工业园

项目概况：项目总投资 221201.7 万元，建成年处理 20 万吨重金属危废协同资源化项目，以重金属梯度回收及砷高值化利用为核心，实现多源重金属危废资源化及砷全过程污染控制，项目于 2021 年 6 月投产运行。

本项目采用的多源重金属危废协同资源化关键技术主要处理含铅、锌、铜、砷等重金属危废，无害化率达到了 100%，资源化率达到 90% 以上，项目消纳铜烟灰、锌浸出渣、铅泥、砷渣等重金属危废 20 万 t/a，回收铅、锌、铜、锡、锑、铋等金属约 7 万 t/a，综合回收金、银、铟、锗、硒、碲等稀贵稀散金属 300t/a。



六、推广前景

重金属危废的污染物和资源属性突出，是重要的有色金属二次资源，采用多源重金属危废协同资源化关键技术处理重金属危废，不仅可以解决重大环境保护问题，而且可以回收大量的铅、铜、锑、锡、铋、金、银、铟等金属。目前我国重金属危废的年产生量大约在 4000 万吨，行业内推广后直接经济效益超过 100 亿元，能有效缓解环境保护压力和部分有色金属资源短缺的现状，推广应用前景十分美好。

该技术的推广，可以有效解决重金属危废处置的金属回收率低、能耗高等问题，缓解环境压力；该技术的应用可实现多源重金属危废的协同资源化，可为处理该类物料的企业创造新的经济增长点和效益，有效缓解我国稀贵稀散金属资源短缺的现状。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：湖南锐异资环科技有限公司

联系人：张力攀

联系方式：13508481643

案例八：南京工大环境科技有限公司集成式热化学处理技术及成套装备

一、技术适用范围

氯化钠、硫酸钠、氯化钾等单质盐及其混盐处理和资源化利用。

二、技术原理及工艺

化工废盐集成式热化学处理技术及成套装备，采用南工环境自主开发的非焚烧类热化学处理技术，通过多区间集成，多燃烧器共轭运行，多元气氛连续处理工艺，以天然气、氯碱富余氢气等低碳清洁燃料为加热热源，将来料化工废盐中的有机污染物脱除一步到位，使再生盐达到相应的产品质量标准，进行资源化利用。具有处理效果好，处理工艺清洁、低碳，盐种适应性广，既能处理氯化钠、硫酸钠等单质盐，又能处理混盐，且无须添加辅料，能耗低等优势。

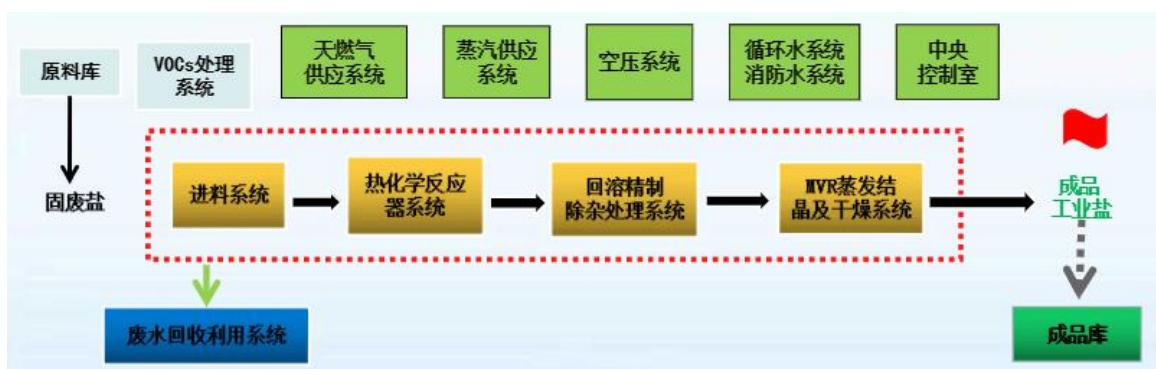


图1 化工废盐集成式热化学处理系统

三、技术指标

技术指标：处理规模： $5 \times 10^4 \text{t/a} \sim 6 \times 10^4 \text{t/a}$ ，反应器出料TOC $\leq 30 \text{mg/kg}$ ，总氮 $\leq 2 \text{mg/kg}$ ；烟气达标排放，二次固废发生量 $\leq 2.5\%$ ，主反应器占地面积比回转窑等技术减少： $50\% \sim 70\%$ ，废盐处理产物符合国家、地方制定或行业通行的被替代原料生产的产品质量标准，

以及符合相关国家污染物排放（控制）标准或技术规范要求。

四、技术特点及先进性

(1) 热化学反应器采用集成式设计构型，由给料接收加热区、主反应区、出料区和二燃区构成，在各区域之间可以设置物理分界。热化学反应器外部设有若干台共轭运行的燃烧器，使各区域实际加热负荷与其需求相适配。

(2) 该技术对 TOC 和总氮脱除率皆可达 99.9% 以上，处于国内领先水平；再生盐能替代部分原盐，用于离子膜烧碱、金属钠生产等高端资源化利用方向，并能大大降低三氯化氮生成造成的安全风险。

(3) 既能处理固体废盐，又能处理高盐高 COD 浓缩废液及干化产物；既能处理单质废盐，也能处理混盐杂盐，并可与高热值废液、废溶剂协同处置。

(4) 全流程处理成本低于液中焚烧、熔融氧化等技术，并可通过副产蒸汽、利用废氢气、废溶剂等进一步降低运行成本。

(5) 处理工艺清洁低碳，能阻止二噁英合成，大气污染物排放达到 GB18484-2020 标准要求，二次固废及废水发生量较小。

(6) 本技术装备涉及的废盐处理系统采取自动化控制系统：生产过程采用 DCS 自动化控制系统，并通过反应器关键运行参数报警和连锁保护确保工艺安全。

(7) 主反应占地面积小，比回转窑、自蔓延焚烧装置等减少 50~70%；大型化后性能更加突出。

五、应用案例

项目名称：安徽金轩化工废盐无害化配套 6 万吨/年离子膜烧碱装置示范项目

安徽金轩科技有限公司（金轩科技）于 2023 年底启动了 6 万吨/年离子膜烧碱项目及其配套的化工废盐综合利用项目建设。该项目采用了“南工环境”自主研发的“化工废盐先进热化学处理技术”及成套装备，实现了在一个工艺单元内，将废盐中的有机污染物残留量（以反应器出料干基 TOC 表征）稳定控制在 30 mg/kg 以下，使回溶盐水中的 TOC、总氮及铵指标均达到 GB/T 30297-2013《氯碱工业用全氟离子交换膜应用规范》要求，直接并入烧碱装置的一次盐水精制系统，成功实现了废盐处理与离子膜烧碱生产的耦合。该项目已于 2025 年 1 月顺利通过验收。

当前运行结果显示，废盐处理装置运行稳定，各项技术指标处于国内领先水平，单位处理量能耗及运行成本优于设计保证值，烟气排放达到国家排放标准要求。烧碱装置运行槽电压、电流效率、氯气纯度等各项指标均正常平稳。该项目的成功验收，为我国化工废盐资源化利用开拓了新的途径，同时，以再生工业盐替代原盐，为传统氯碱工业的技术提升做出了新的贡献。



图 2 安徽金轩化工废盐无害化配套 6 万吨/年离子膜烧碱装置示范项

目

六、推广前景

随着环保政策趋严、装备效率提升、成本下降以及成功案例的增多，会带动更多企业跟进选择化工废盐热化学处理技术及成套装备。预计 3 年后化工废盐热化学处理装备在化工行业的普及率将达到 30%-40%。行业在热化学处理装备上的总投入预计达到 50-70 亿元。每年提高化工废盐资源化利用量 100-150 万吨，产生经济效益 20-30 亿元，并带来显著的社会效益。政策支持、技术进步和市场需求的共同推动下，该技术将成为化工行业废盐处理的主流方式。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：南京工大环境科技有限公司

联系人：刘志英

联系方式：13913951547

案例九：厦门艾思欧标准砂有限公司粉煤灰高质低碳物理改性关键技术及装备

一、技术适用范围

建材/粉煤灰加工处理

二、技术原理及工艺

简要描述技术原理及工艺，附工艺流程图或技术原理图等，需单独提供较为清晰的电子版图片。

粉煤灰高质低碳物理改性关键技术采用新型干法节能型立式研磨装备对粉煤灰原状粗灰进行物理改性。新型干法节能型立式研磨装备主要工作机理是电机经减速机带动螺旋搅拌器，在填充一定研磨介质筒体内旋转，研磨介质和物料做整体多维循环运动和自转运动，精准匹配研磨整形所需的能量，综合利用研磨介质之间的摩擦力、挤压力、剪切力和冲击力来研磨物料，形成粉煤灰玻璃微珠分离整形关键技术及工艺，粉煤灰玻璃微珠保留完好，用于水泥混凝土可改善其工作性能；物理改性粉煤灰活性指数提高，可替代 20%水泥熟料，并提高混凝土密实度和耐久性。

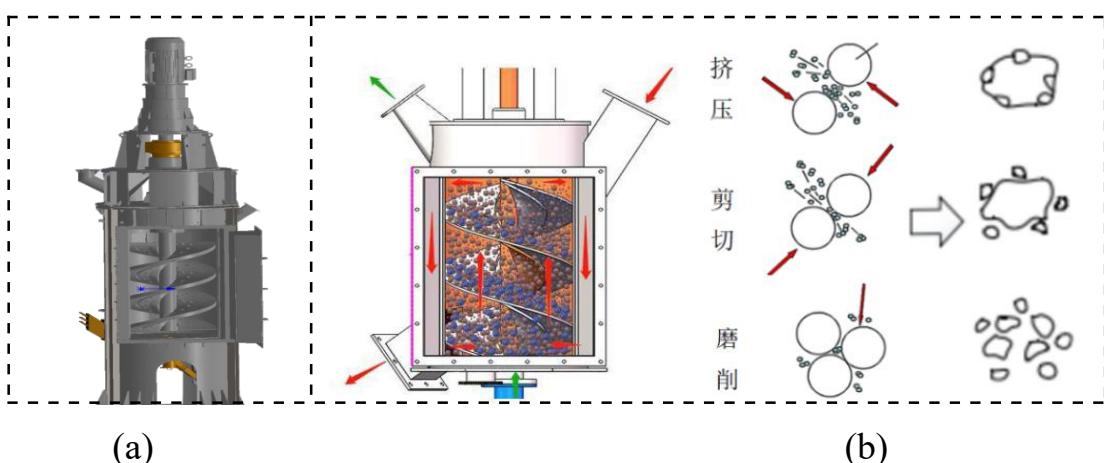


图 1 立式研磨机 (a) 及研磨介质对物料作用示意图 (b)

粉煤灰原灰经计量秤输送至立式研磨机进行研磨整形，合格产品经计量秤输送至成品库。工艺采用开路或闭路两种方式。

以开路工艺为例：原料仓中的粉煤灰经计量装置输送至立式研磨机进行研磨，上部进料，下部出料，出料口安装电动流量阀，通过控制电动流量阀开度，可以实现反向控制入磨物料喂料量，研磨后的粉煤灰经计量后由输送系统输送至成品库。

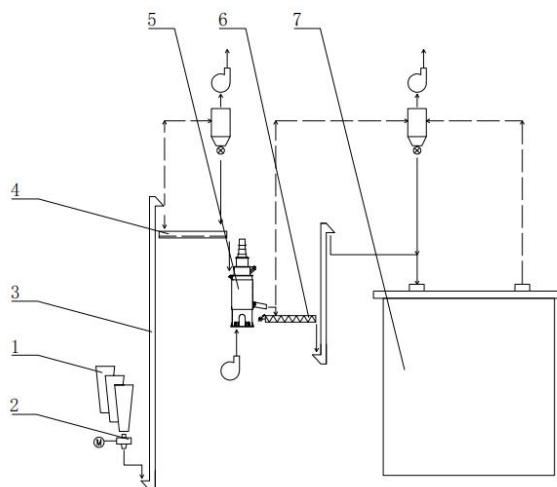


图 2 开路工艺

三、技术指标

1.综合能耗： $\leq 12\text{kWh/t}$ (II级灰，台时产量 $\geq 60\text{t/h}$ ，原灰 $45\mu\text{m}$ 筛余 $\leq 55\%$)； 2.噪声： $\leq 85\text{dB}$ (工作状态下)； 3.运转率： $\geq 95\%$ ； 4.物理改性粉煤灰颗粒形貌 (长径比降低，圆形度提高) 大幅改善，需水量比降低 3%，活性指数组提高 10%。

四、技术特点及先进性

技术特点：

1.玻璃微珠保留完好、粒径分布更接近 Fuller 曲线，堆积密度提

高，提高混凝土密实度；

- 2.设备温升小、节能降耗显著；
- 3.装备安装调试周期短、工程造价低、占地面积小、投资少；
- 4.运行成本低、运转率95%以上，研磨介质磨耗低，维护简单，运行成本低；
- 5.自然资源消耗少、无需水冷却、润滑油用量约为管磨机的20%；
- 6.衬板和研磨介质均采用刚玉材质，避免因使用高铬耐磨材料产生的污染。

先进性：

- 1.研发新型干法节能型立式研磨关键技术与装备，开展模拟仿真研究，揭示立式研磨机理。
- 2.形成粉煤灰玻璃微珠分离整形关键技术及工艺，实现粉煤灰原灰高效综合利用。
- 3.创新解决粉煤灰研磨后品质下降的问题，玻璃微珠保留完好，粒径分布更接近Fuller曲线，颗粒形貌（圆形度、长径比）改善，堆积密度提高。

五、应用案例

需包含项目名称、项目所在地、项目概况（如该技术装备应用前后的污染物排放情况对比，项目总投入、污染物年减排量、成本节约效果、节能效果等内容，包括但不限于上述内容）。

项目名称：嘉兴粉煤灰磨细项目

项目所在地：浙江省嘉兴市平湖市乍浦镇

（一）项目概况

- 1.项目总投资费用为2800万元。

2.本项目颗粒物排放为 2.23t/a，实现了超低排放。

粉尘废气：生产过程中执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 表 2 标准。经检测排放速率为 0.08kg/h，远低于标准要求 1.75kg/h。

噪声：生产过程中执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 标准。经检测噪音小于 85 分贝，符合国家标准要求。

3.新型干法节能型立式研磨装备首次应用于浙江天远新材料科技有限公司嘉兴粉煤灰磨细项目，加工处理电厂原灰，通过新型干法节能型立式研磨装备进行研磨整形，生产出符合标准要求的 I 级或 II 级粉煤灰。

4.新型干法节能型立式研磨装备比传统管磨系统节能 50%以上，提高工业固废再生利用。

(二) 节能效果

单台(套)技术装备粉煤灰综合利用量按 50 万吨/年测算，同工况下较传统球磨机节电 20kWh/t，实现节电 1000 万 kWh/a，节能量 218tce/a，带来 CO₂减排 581t/a，熟料替代 CO₂减排 265000t/a (电力 CO₂排放因子按 0.581kgCO₂/kWh、熟料替代减排 0.53tCO₂/t 测算)，合计减排 CO₂约 270810t/a，研磨整形后的物理改性粉煤灰用于水泥生产过程中可替代 20%的水泥熟料，从而提高固废利用率，减少水泥熟料的使用量，减少二氧化碳的排放量，对于固废综合利用、改善环境和发展低碳循环经济意义重大，具有显著的社会效益。



图3 案例图片

六、推广前景

三年后该技术设备在行业内的普及率预计可达到 15% 左右，装备投入约 2.76 亿元，实现粉煤灰处置 1340 万吨/年，减少 CO₂ 的排放量，产生经济效益约 6 亿元，对于固废综合利用、改善环境和发展低碳循环经济意义重大，具有显著的社会效益。预计后续随着技术成熟和知名度提高，逐步扩大市场规模，应用推广前景广阔。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：厦门艾思欧标准砂有限公司

联系人：吴红安

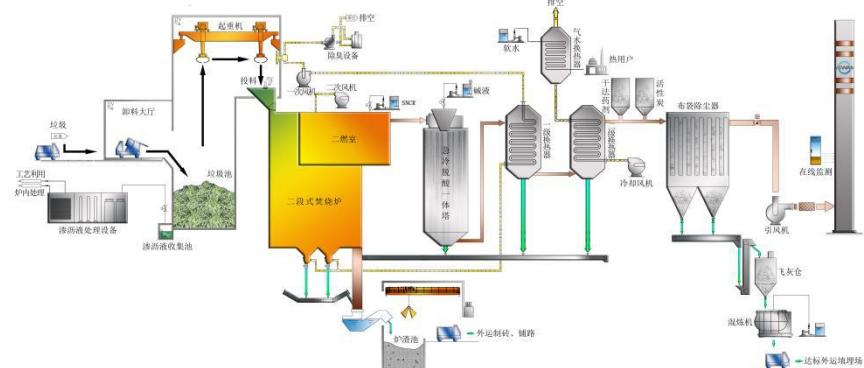
联系方式：18438598763

案例十：西安阿尔卑斯环保科技有限公司县域生活垃圾小型化分散式焚烧处理成套装备

一、技术适用范围

本装备适用于日处理规模 20~300 吨、服务人口 3-40 万的区县、旗等县域地区的固废垃圾焚烧处理场景，以“一县一策”固废解决方案精准识别县域治理痛点，因地制宜设计制造不同处理规模的生活垃圾焚烧处理成套装备。

二、技术原理及工艺



换热器式工艺流程为：生活垃圾→垃圾储坑→抓斗上料→二段式焚烧炉→SNCR 系统→半干反应塔→空气换热器→干法、粉末活性炭喷射→布袋除尘→引风机→烟筒排放

核心二段式炉排焚烧技术，通过干燥段与焚烧段炉排形成的“躺椅式”结构，结合二燃室设计，形成低温与高温两段焚烧管理，即使处理县域地区低热值垃圾也能保持稳定燃烧。炉排间隙经材料优化缩小，增强风的穿透力，提升干燥与燃烧效率。采用低空气过剩系数控制燃烧，炉温控制在 850°C 停留 2S 以上，将二噁英去除，在 1050°C 以下，抑制热力型 NOx 生成。

烟气再循环技术有效降低出口氧含量，通过调控氧浓度与温度抑

制 NO_x 产生。循环风与二次风协同供应，增强烟气扰动，促进可燃气体完全燃烧。

烟气净化技术具备充足余量与自动控制能力，可应对燃烧波动，实现稳定达标排放。采用氢氧化钠碱液与单流体喷射工艺，结合干法脱酸及布袋除尘前喷入消石灰和活性炭，提升净化效果。急冷脱酸一体技术大幅降低运行成本，提高酸性气体去除率，减少飞灰产生。另设 SNCR 应急系统，喷尿素溶液以保障 NO_x 达标。

余热利用技术通过急冷脱酸后换热回收热能，可用于供暖、供热水，显著提升热效率，降低能耗。

三、技术指标

二段式炉排焚烧炉负荷范围：70%~110%；热灼减率： $\leq 3\%$ ；炉膛内 850°C 区域的烟气停留时间： $\geq 2S$ ；烟气排放指标满足《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485-2014）的要求；生活垃圾热值低热值可达 800kcal/kg，高热值可达 3000kcal/kg；烟气在线监测：配备 CEMS，系统对大气污染源排放的气态污染物和颗粒物进行浓度和排放总量的连续监测，并将信息实时传输到主管部门的装置。

四、技术特点及先进性

技术特点：自主研发“躺椅式”炉排与智能热循环系统，实现对低热值、复杂成分垃圾的高效稳定焚烧。模块化装备与柔性布局技术，支持“零增地”建设，直接利用存量用地，破解选址难题。智慧柔性调度系统，使设备可在 70%-110% 负荷范围内自适应调节，应对垃圾量波动。

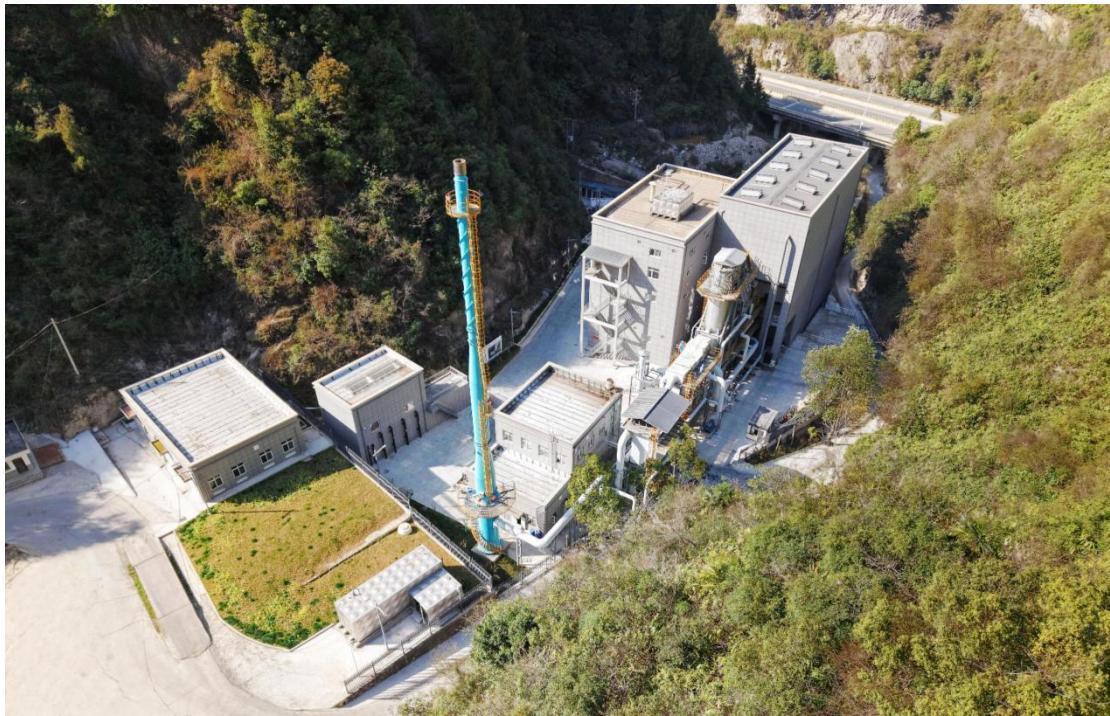
技术先进性：采用二段式焚烧工艺“3T+E”核心技术，专为县域垃圾特性设计，实现低热值垃圾高效稳定燃烧，国内首套实现“装、树、联”规范运行的中小型焚烧装备。装备设计考虑了不同地区的垃圾特性和处理需求，具有很好的适应性和灵活性，能够满足不同规模和地形的项目需求。模块化与智能化程度高，实现用地集约、建设周期短，适应县域复杂地形与波动工况。

五、应用案例

1.项目名称：镇巴县生活垃圾焚烧厂建设项目
2.项目所在地：陕西省汉中市镇巴县泾洋街道办事处孙溪沟
3.用地面积：约 26 亩
4.建设规模：日处理 49 吨生活垃圾
5.服务范围：主要处理镇巴县城区垃圾。
6.项目总投：约 6500 万元
7.建设单位：镇巴县住房和城乡建设管理局
8.项目概况：镇巴县生活垃圾焚烧厂建设项目位于国家南水北调中线工程重要水源涵养区，采用阿尔卑斯环保 HTIC-S 型生活垃圾焚烧处理成套装备，设计日处理能力 49 吨。项目通过精准工艺设计与模块化布局，显著节约用地 30%，并依托既有填埋场设施实现“零新增建设用地”，盘活存量空间；同时，项目配套实时在线监测系统，实现排放数据联网监管，全面筑牢汉江水源地生态安全屏障。

项目建成投运后，综合效益显著。在环境方面，实现了垃圾处理从填埋向焚烧的绿色转型，大幅减少土地占用与渗滤液产生，杜绝地下水污染风险，并有效改善区域空气质量。经济效益方面，项目通过余热利用实现能源回收，年节约标煤约 95 吨，同时降低了垃圾外运

与填埋成本，为县域环卫体系注入持续运营动力。社会层面，项目的实施显著提升了镇巴县生活垃圾无害化、资源化处理水平，改善了城乡人居环境，增强了政府公信力与群众生态获得感，为秦巴山区县域垃圾治理与生态协调发展提供了可复制、可推广的示范样本。



六、推广前景

随着《美丽乡村建设实施方案》和 2025 年中央一号文件等政策相继出台，美丽乡村建设与农村人居环境整治持续推进，国家明确提出因地制宜在偏远县域和村镇建设小型化、分散式生活垃圾处理设施，推动农村垃圾源头减量、就地就近处理和资源化利用。发改委、住建部等部门连续出台多项文件，明确加强县级地区焚烧设施建设。在当前政策大力支持的背景下，我国中小型生活垃圾焚烧处理技术迎来重要发展机遇。

面对全国约 1538 个县域的生活垃圾焚烧设施缺口，市场存在显著空间。尤其在人口 3—40 万的县级地区，日处理能力在 300 吨以下的县域占据绝大多数，其中 200—300 吨缺口约 400 个，100—200 吨约 838 个，100 吨以下约 300 个，发展不均衡与市场空白并存。阿尔卑斯环保所研发的中小型垃圾焚烧技术，高度契合国家部委当前重点推动的战略方向。凭借灵活适配、源头减量和就地处理优势，已实现广泛应用。未来三年，该技术装备普及率预计从 30% 提升至 50%，总投入达 7 亿元，具备强劲的政策契合度与市场推广前景。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：西安阿尔卑斯环保科技有限公司

联系人：孙锐

联系方式：13201749676

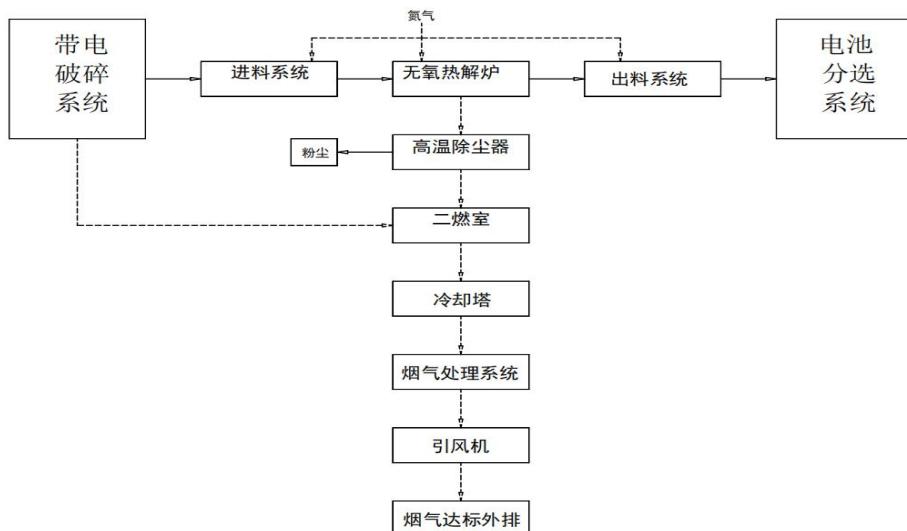
案例十一：光大环保技术装备（常州）有限公司废旧动力电池高效热解关键技术及有价组分回收成套装备

一、技术适用范围

适用于废旧动力电池资源化处置。

二、技术原理及工艺

废旧动力电池回收系统主要由物料输送系统、破碎系统、热解系统、分选系统、除尘系统、尾气治理系统、粉料收集系统、控制系统组成。废旧电池经过多级破碎后输送至热解炉内，然后通过多道筛选作业，将黑粉、铜粉、铝粉分离出来，尾气通过碱喷淋塔、活性炭箱吸附等处理后达标排放。



工艺流程图

三、技术指标

炉内氧浓度 $<1\%$ ；黑粉纯净度 $\geq98\%$ （铜铝等其他 $\leq2\%$ ）；热解后物料残炭率 $<2\%$ ；有机物焚毁率 99.99%，脱氟效率 99.9%；炉窑升温时间 $\leq30\text{min}$ ，启炉时间 $<3\text{h}$ ，炉温变化调节时间 $<15\text{s}$ ；运行过程全厂自动化投运率达 95%以上；控氧带电破碎。

四、技术特点及先进性

针对动力电池破碎分选物料，开发了高效多级分布式精准控温电磁热解炉，实现了分段精准加热，控温精准达±1℃，炉温变化调节时间<15s，炉体加热效率达95%，综合热效率达85%，炉内氧浓度<1%，解决了传统炉型传热效率低、能耗高、密封性差控温难、升温慢等难题。

开发了高效梯级热解工艺，达到了减少焦油产生量及电解液高效脱除的目的。开发了基于气液两相组分比例的精准控温燃烧技术及多级除氟脱酸烟气净化系统，解决了电池回收过程中的烟气污染问题。

五、应用案例

项目名称：常州废旧电池高值资源化回收利用项目

项目概况：该项目针对一般废旧磷酸铁锂及三元电池的高值回收处理，年处理量达1万吨，通过带电破碎、无氧热解、洁净燃烧、多级分选等技术，实现一般废旧电池的全量处理，技术可靠，取得良好效果：破碎分选一体化连续生产，全量处理废旧电池量达到项目设计值；带电破碎系统稳定，可燃气体分级燃烧技术可靠，炉内温度均匀，燃烧效果好。燃烧烟气洁净处理完全，燃烧后的含氟含氯烟气可完全脱酸净化。自动控制系统精确控制上料速度、窑内温度等主要变量以满足自动焚烧需求。



六、推广前景

随着新能源汽车产业的快速发展，动力电池退役量逐年增加，动力电池回收利用已成为实现资源循环利用、减少环境污染的重要途径。未来三年，随着政策支持和技术进步，废旧动力电池回收设备的普及率将显著提升，设备普及率将显著提升，设备总投入预计将达到10亿元以上，通过回收设备处理的退役动力电池将减少碳排放约1000万吨。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：光大环保技术装备（常州）有限公司

联系人：孙丽娟

联系方式：15861194485

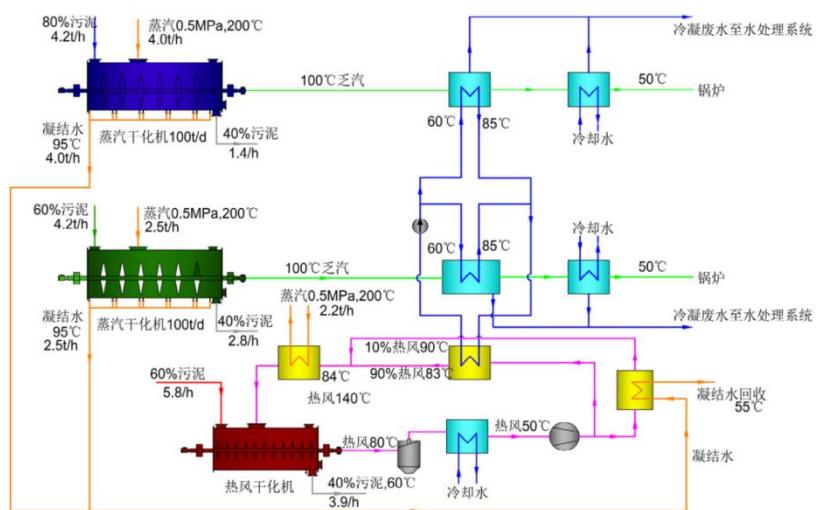
案例十二：国能龙源环保有限公司大型煤粉锅炉协同处理城镇生活污泥技术

一、技术适用范围

适用于火电行业协同处理城镇污泥、工业污泥、含油污泥、生物质、药渣等城镇多源有机固废及危废领域。

二、技术原理及工艺

采用多段式能量梯级利用污泥高效干化技术耦合大型煤粉锅炉焚烧工艺技术路线，利用发电厂低压过热蒸汽作为干化热源，将含水率 60%~80% 湿污泥干化至含水率 40% 以后，送至电厂输煤皮带，经磨制系统送入大型燃煤锅炉焚烧；采用冷凝废水循环回用零排放技术处理污泥干化冷凝废水；采用臭气全过程控制零排放技术处理污泥臭气，最终依托电厂现有烟气净化设施处理锅炉废气，实现超低排放



工艺流程图

三、技术指标

进料污泥含水率：60%~80%，干化污泥含水率：35%~40%，
干化污泥掺烧比≤10%；干化吨污泥蒸汽耗量≤0.75 吨（含水率 80%

至 40%）。

颗粒物浓度 $\leq 5 \text{mg/Nm}^3$, SO_2 浓度 $\leq 35 \text{mg/Nm}^3$, NO_x 浓度 $\leq 50 \text{mg/Nm}^3$, HCl 浓度 $\leq 60 \text{mg/Nm}^3$, 汞及其化合物浓度 $\leq 30 \mu\text{g/Nm}^3$, 镉、铊及其化合物浓度 $\leq 100 \mu\text{g/Nm}^3$, 锡、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍及其化合物浓度 $\leq 1000 \mu\text{g/Nm}^3$, 二噁英类浓度 $\leq 0.1 \text{ngTEQ/Nm}^3$, 烟气黑度 ≤ 1 。

汞浓度 $\leq 0.1 \text{mg/L}$, 镉浓度 $\leq 0.02 \text{mg/L}$, 镉、硒浓度均 $\leq 1 \text{mg/L}$, 铅、镍、砷、总银、氰化物浓度均 $\leq 5 \text{mg/L}$, 总铬浓度 $\leq 15 \text{mg/L}$, 铜、锌、钡、无机氟浓度均 $\leq 10 \text{mg/L}$ 。

四、技术特点及先进性

(一) 提出多元低品位热源多级循环耦合工艺: 研发了“多段式能量梯级利用”污泥高效干化耦合煤粉锅炉关键技术，实现了基于污泥高效干化的能量梯级利用，解决了污泥干化成本高、能耗大的共性关键技术难题。

(二) 突破成套高效干化专用设备自主化率 100%: 研制了新型立式高效干化机、高效防堵换热器、大型污泥储仓及破拱设备、降温抑尘多级布风等成套高效干化专用设备，提高了污泥干化效率，解决了高含尘乏气堵塞、不同含水率污泥储运难题，关键零部件可根据污泥种类、污泥含水率以及锅炉类型等改变实现全部自主配套。

(三) 建立国内首个全流程系统: 首创大型煤粉锅炉协同处理城镇生活污泥“预处理-燃烧-污染物评估”全流程系统，实现污泥资源化处理全流程经济、安全、稳定运行，以及污染物排放达标和可靠预测。

五、应用案例

(一) 项目基本信息

项目名称：常州市国电污泥处理项目

项目所在地：江苏省常州市新北区春江镇江花路 1 号

(二) 项目概况

1. 实施内容

依托国能常州发电有限公司 2×630MW 煤粉锅炉及烟气超低排放系统，采用国能龙源环保有限公司的大型煤粉锅炉协同处理城镇生活污泥技术，建立了一套全流程的大型煤粉锅炉协同处理污泥系统，采用干化耦合掺烧一体化工艺技术路线，对城镇生活污泥进行减量化、无害化、资源化处理，设计处理规模为 500 吨/天（含水率约 80%），年处理污泥总量 15.9 万吨。项目总投入 10030 万元。

2. 实施效果

节煤降碳效果：项目应用前，项目所在地污泥采用独立焚烧进行处理，每年处理 16 万吨污泥的碳排放量为 4.60 万吨。项目应用后，每年处理 16 万吨污泥的碳排放量为 2.88 万吨，碳减排率 62.7%；每年减少标煤消耗量 1.07 万吨。项目自投运以来，共降低 CO₂ 排放约 12 万吨。

污染物减排效果：项目每年降低 SO₂、NO_x 和 PM2.5 排放量分别为 5300 吨、1540 吨和 3310 吨。项目自投运以来，共计消纳城镇污泥 66 万吨，降低污染物排放约 4.20 万吨。

安全稳定运行：项目自 2020 年 6 月投运以来，实现了火电协同处理城镇污泥 7% 高掺烧比（含水率 40%）长周期安全稳定运行。干化耦合掺烧污泥对电厂各系统无影响，掺烧污泥对锅炉效率影响忽略不计，并由第三方权威机构检测证实。项目干化耦合掺烧城镇生活污

泥的各项排放指标均满足环保要求，对炉渣、粉煤灰、石膏品质无影响，全厂区无臭气影响，二噁英浓度远低于 $0.1\text{ngTEQ}/\text{m}^3$ ，并由第三方权威机构检测证实。



典型案例的照片

六、推广前景

预计未来 3 年内，该技术装备将推广应用于 60 个燃煤电站，污泥处理规模达 680 万吨/年，市场占有率达到 24%，营业收入将达 20 亿元/年；可分别降低 CO_2 、 SO_2 、 NO_x 和 PM2.5 排放 122 万吨/年、22 万吨/年、7 万吨/年和 1 万吨/年，共计可实现污染物减排总量 152 万吨/年。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：国能龙源环保有限公司

联系人：何璐

联系方式：18810906097

(四) 土壤污染修复

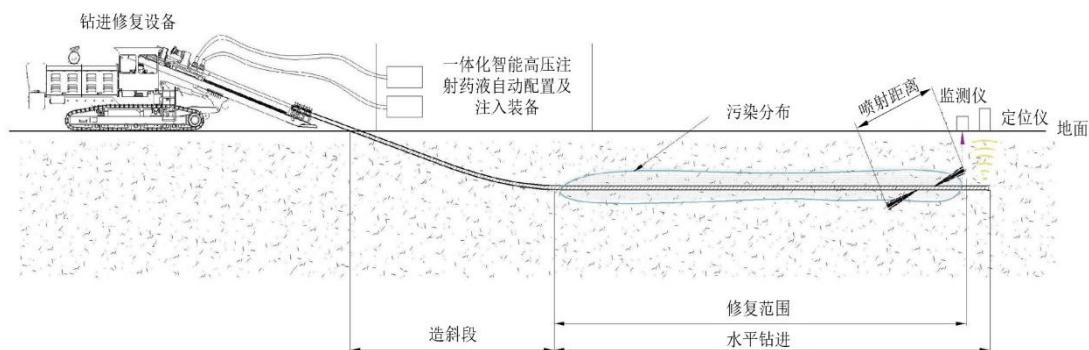
案例一：江苏大地益源环境修复有限公司污染场地原位靶向注入修复技术和装备

一、技术适用范围

本技术装备适用于重金属和有机物污染场地土壤、地下水修复。

二、技术原理及工艺

采用定向高压射流喷注工艺，高压射流冲击低渗透地层并形成通道及周边裂隙网络，修复材料经通道及裂隙网络注入地层，高压水射流产生的紊流实现药剂与土壤地下水的充分混合。集成定向钻机、双通道双封隔喷注节、高压注入和智能配药设备，实现污染土壤和地下水的精准靶向修复，突破现有注入修复工艺低渗透地层修复半径瓶颈，避免过度修复、减少二次污染。



水平定向钻进、靶向注入修复

三、技术指标

低渗透地层（渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ）影响半径 ≥ 3 米，修复精度

0.5 米；修复深度 ≥ 30 米，水平钻进长度 ≥ 120 米；修复作业效率8-15m/h,土壤和地下水原位修复效率 140-390m³/h；喷注工作参数：最大射流压力 60MPa，最大注射流量 380L/min。

四、技术特点及先进性

高压射流-定向喷注突破注入修复半径瓶颈，低渗透地层影响半径大于3米，远大于其他注入工艺的0.5-1.5米，极大降低了钻进成本，仅为注射井工艺的12.3%、旋喷和直推注入工艺的25.7%。

定向钻进-射流喷注一体化技术可根据修复场景需要和污染物分布状况，选择垂直或水平钻进，实现精准靶向修复，修复精度0.5米。双封隔器技术实现分段/分层独立注入，大幅降低综合修复成本，显著减少能耗和物耗和次生污染，避免串扰和地面冒浆，降低环境扰动和修复足迹。



五、应用案例

项目名称：南京毓恒码头及周边地块土壤修复工程。

场地位于南京市栖霞区，是原南京化工厂化工厂危险品码头及附属设施，地块规划用地性质为住宅混合用地及道路。该场地属典型低渗透粘性地层，土壤中污染物最大浓度和超标倍数分别为：4-氯苯胺56.70mg/kg、18.16倍；苯并(a)芘1.56mg/kg、1.89倍；邻（对）硝基

氯苯 51.40mg/kg、3.34 倍。地下水巾污染物石油烃（C10-C40）最大浓度和超标倍数：61mg/L、13.35 倍。工程规模：土壤 76530m³，地下水 34508m³。

修复后监测结果符合修复标准：4-氯苯胺 2.96mg/kg、并(a)0.54mg/kg、邻（对）硝基氯苯 11.85mg/kg 和石油烃 0.6 mg/L。工程于 2019 年 12 月动工，2022 年 11 月修复竣工，按区块分别完成修复效果评估，主体部分已完成验收，并移出《江苏省建设用地土壤污染风险管控与修复目录》。

六、推广前景

全国污染场地数量超过 50 万块，修复市场总规模大于 1.5 万亿，“十四五”期内市场规模 1500-2000 亿元，“十五五”期将达稳定，市场规模大于 2500 亿元。本技术装备大幅降低修复成本，显著减少能耗物耗低、次生污染和碳排放低，契合国家碳达峰碳中和战略，有效解决在产企业和工业园区无扰修复难题，市场需求巨大、技术优势显著。预期 2030 年前装备定向钻进-射流喷注一体化修复设备总数 4 台套、修复产能达 80-100 万方污染土壤地下水/年，实现新增销售收入 5 亿元/年。

七、支撑单位

支撑单位名称：江苏大地益源环境修复有限公司

联系人：丁金荣

联系方式：18755387499/025-83302008

邮箱：dingjr@jsddbs.com

(五) 环境监测专用仪器仪表

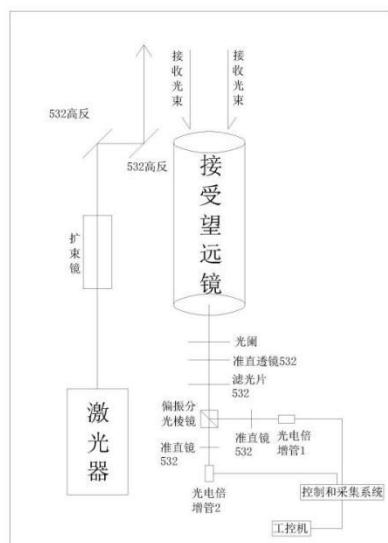
案例一：安徽科创中光科技股份有限公司大气颗粒物监测激光雷达

一、技术适用范围

主要通过对大气环境进行精准立体监测来服务污染防控，适用于城市与区域环境监测、污染溯源与精准管控、特定场景与重大活动保障等领域。

二、技术原理及工艺

基于激光遥感技术，通过主动发射激光脉冲并接收大气颗粒物的后向散射信号，结合双波长或偏振激光技术，精准反演颗粒物的消光系数、后向散射系数及边界层高度等参数，有效区分粗颗粒物与细颗粒物，实现对污染物时空分布的立体监测。差分吸收激光雷达(DIAL)利用气体分子吸收特性，通过发射待测气体吸收线和非吸收线两束激光，依据回波信号强度差异确定污染物浓度。



三、技术指标

激光器类型：泵浦固体激光器；

工作波长：单波长 532nm；

单脉冲输出能量： $\geq 1000\mu\text{J}$ （ $10\mu\text{J} \sim 1000\mu\text{J}$ 之间，可调节）；激光重复频率： $1\text{kHz} \sim 100\text{kHz}$ 之间任意可调；主机内置激光功率监测模块，可实时在线监测激光功率，功率监测相对误差在 $\pm 5\%$ F.S 范围内；激光重复频率： $2\text{kHz} \sim 100\text{kHz}$ 之间任意可调；波长偏差： $\leq 0.2\text{nm}$ ；

光路设计：非同轴系统，避免后向散射光影响、保护探测系统；

最大探测距离：垂直有效探测距离 $\geq 15\text{km}$ ；水平有效探测距离 $\geq 5\text{km}$ ；

探测盲区： $\leq 30\text{m}$ ；

垂直分辨率： $7.5\text{m} \sim 30\text{m}$ 之间可调；

时间分辨率： $1\text{s} \sim 3600\text{s}$ ，可调节

四、技术特点及先进性

采用多波长激光探测与高精度偏振探测技术组合，结合自适应信号处理与反演算法，可精准区分不同粒径、类型及相态的大气颗粒物。搭配三维扫描与污染溯源技术，能实现污染物时空分布的立体监测与传输路径追溯；通过双望远镜几何重叠校正及全天候防护加热系统，解决测量盲区问题并适应复杂气象条件。技术指标如探测盲区（ $\leq 30\text{m}$ ）、时间分辨率（ $1\text{s} \sim 3600\text{s}$ 可调）等多项参数优于国内同类产品，填补安徽省智能大气环境监测领域技术空白，整体水平国内领先，为大气污染精准防控提供了高效的科技支撑。

五、应用案例

项目名称：浙江环信环境自动检测有限公司常山县颗粒物激光雷达监测系统建设项目

项目概况：

（一）应用前后对比

项目应用前：该区域依赖传统监测手段，对大气颗粒物的监测仅能获取单点浓度数据，污染源定位精度低、响应慢，无法掌握颗粒物的时空分布与传输规律。

项目应用后：实现大气颗粒物浓度时空分布实时监测，精准锁定污染高值区，支撑污染溯源与应急响应；助力当地生态环境部门高效开展污染治理，配合走航监测车处置扬尘、工业排放等污染事件，每年可辅助减少 PM2.5 等颗粒物污染物排放超 150 吨，提升环境治理科学性与精准度，为区域空气质量改善提供有力数据支撑。

（二）环境效益：助力当地生态环境部门高效开展污染治理，配合走航监测车处置扬尘、工业排放等污染事件，提升环境治理科学性与精准度；



六、推广前景

随着环保政策收紧与监测需求升级，产品将广泛应用于政府环保部门、重点工业园区及交通枢纽等关键领域，为实现精准治污提供核心数据支撑。预计在未来三年，可实现总销售额 1 亿元，市场占有率达到 25%，累计应用案例总数达到 60 个。通过大规模部署，该技术将助力实现 PM2.5 等主要颗粒物污染物年减排量 500-800 吨，为区域大气污染防控提供高效科技手段，有力推动智慧环保体系与数字城市的建设进程。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：安徽科创中光科技股份有限公司

联系人：江平

联系方式：15255189725

案例二：力合科技（湖南）股份有限公司水环境智能采测一体化装备

一、技术适用范围

可应用于生态环境、水利水务、卫生疾控、农业农村、工业过程控制等领域，适用于地表水、地下水、海水、饮用水、污水等多种水体水质自动采测。

二、技术原理及工艺

智能采测一体化装备创新突破动态智能感知采样、样品配送全程溯源、高效批量全自动检测、数据智能分析应用，由智能采样终端、样品运输箱、全自动AI水检系统、信息化综合管理平台等组成。该装备创新打造“采、运、测、管”全链条可溯源智慧检测新模式，实现样品采集配送、上样流转、检测分析、数据采集、报告生成等环节全过程自动化操作，全程留痕、进度可视、结果可溯、数据可靠。



图1“采运测管”全链条智能化监管流程

三、技术指标

检测指标>110项，覆盖常规理化、重金属及有机物等；常规4参数（COD、氨氮、总氮、总磷）样品日检测量≥300个；无故障检

测样品个数 \geq 1000 个；有机物指标的示值误差 $\leq\pm20\%$ 、定性重复性 $\leq1\%$ 、定量重复性 $\leq\pm10\%$ ；其他指标的准确度（示值误差） $\leq\pm10\%$ 、重复性（精密度） $\leq5\%$ ；具备定时采样、周期采样、触发采样、等比例采样（时间、流量、液位）、远程控制采样等多种采样模式及自动添加固定剂等功能，可实现多时空样品自动采集、样品数据全链条可溯源、样品全自动检测分析。

四、技术特点及先进性

该装备针对当前水质监测指标/频次不足、数据质量和时效性较低、人为干扰风险高、数据协同应用不足等瓶颈问题，突破多级防伪溯源技术、多指标高通量检测控制技术，创新搭建“梦溪智脉”大模型，实现了样品自动采集、样品信息自动解析、仪器自动进样与批量检测、智能自动质控、数据实时采集、报告智能生成等环节的全过程无人化操作，水质检测指标达 110 余项，可实现全天候、全自动、批量化检测，常规 4 参数（COD、氨氮、总氮、总磷）系统日检测样品量可达 300 个，填补水环境检测领域实验室全自动检测技术与装备的空白，经湖南省科学技术成果评价整体达国际领先水平，全面加速了我国实验室检测从手工监测向全面自动监测的跨越式发展，支撑监测行业从数据处理到决策支撑的智能化升级。

五、应用案例

项目名称：重庆云阳“万人千吨”饮用水智能化监测项目

项目概况：2022 年项目建设于重庆云阳应急管理局，总投资 400 万元，建成了目前国内首个饮用水领域的自动化检测实验室，承担云阳县水源水、出厂水、管网水、末梢水等农饮水水质监测，包括 156 座村级水厂的季度监测，57 座规模化水厂的月度监测，3045 处小型

集中供水工程的半年度监测。项目实施后，云阳县区域饮用水送检率提升 80%以上，检测水样从年均不到 1000 个提升至 11000 余个水样，检测数据从年产出 1 万余条提升至 15 万余条，助力云阳县农饮水达标率稳定提升至 92%以上，有力保障居民饮水安全。相比传统手工实验室，自动化实验室仪器消耗试剂和产生废液更少，经测算，该装备运行过程中实现的低浓度废液减排量约为 33 吨/年，含铬有毒有害废液减排量约为 17.8 吨/年。在同等检测任务下，相比实验室手工检测，运行成本可节约 40-60 万/年。



图 2 主要工艺设备图

六、推广前景

随着《国家生态环境监测网络数智化转型方案》的发布实施，北京、深圳等地将 AI 实验室纳入智慧城市新基建规划，配套补贴达项目投资的 20%-30%。另外，随着生态环境、住建水务、水利水文、卫生疾控、公安缉毒、自然资源、畜牧农业、市场监督执法、工业过程控制等不同领域水质检测需求不断增加，水质检测范围、指标和频次不断扩大，考核评价检测、监督性检测、执法检测、应急检测等检

测压力及任务不断攀升。预计 3 年后，可实现年销售量超 50 台套，年产值超 4 亿元，相比传统手工监测实验室，可实现的低浓度废液减排量约超 9000 吨/年，含铬有毒有害废液减排量约为 5340 吨/年。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：力合科技（湖南）股份有限公司

联系人：王利群

联系方式：17375884877

案例三：芯视界（北京）科技有限公司量子点光谱水质一体化智能监测设备

一、技术适用范围

适用于湖泊、水库、河道、排水系统、污水处理厂等水体，通过原位布设实现水质实时监测、动态预警、定位溯源、分析预测等，为水环境智慧监管、城市排水管网智慧诊断及环境水务等场景智慧决策提供重要支撑。

二、技术原理及工艺

采用量子点光谱传感技术，替代传统光栅、棱镜等分光元器件，实现了水质监测设备微型化；采集目标水体光谱特征信息，构建融合机理解析与机器学习相结合的多模态水质模型，建立光谱特征与水质指标的映射关系，实现复杂环境下水体多参数的高精度监测。



图 1. 量子点光谱水质一体化智能监测设备

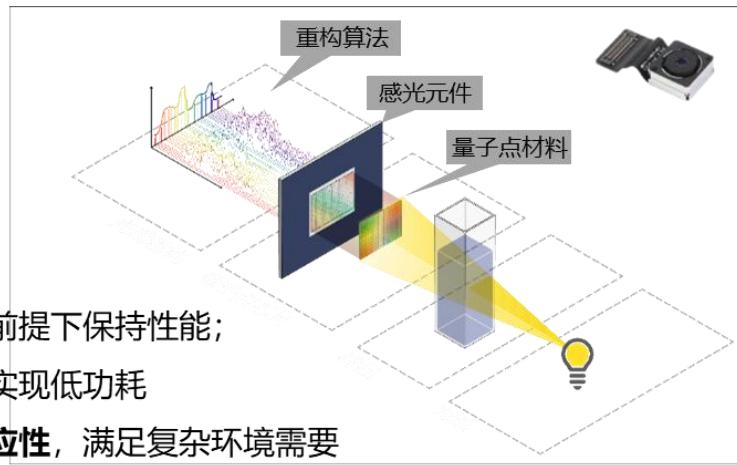


图 2. 设备技术原理图

三、技术指标

监测频率可达秒级（常设分钟级）；

实现 10 参数一体化监测，其中化学需氧量 量程 3-100 mg/L，准确度 $\pm 10\%$ ；高锰酸盐指数量程 2-20 mg/L，准确度 $\pm 10\%$ ；总有机碳量程 0-30 mg/L，准确度 $\pm 10\%$ ；氨氮量程 0.1-10 mg/L，准确度 $\pm 0.5\text{mg/L}$ 或 $\pm 5\%$ ；电导率量程 2-12000 $\mu\text{S/cm}$ ，准确度 $\pm 1\% @ \text{FS}$ ；溶解氧量程 0-20 mg/L，准确度 $\pm 0.5\text{mg/L}$ ；浊度量程 0-100 NTU，准确度 $\pm 10\%$ 。

四、技术特点及先进性

(1) 自研模块化高度集成多参数水质智能传感设备，无需化学试剂，以分钟级高频数据采集实现对水质的实时监测，克服了传统监测技术设备体积大、成本高、消耗化学试剂、环境适应性差等局限性。

(2) 攻克了在低信号、高流速冲击等复杂环境下动密封防水、功耗管理、井下防爆防腐等关键技术，建立了智能设备健康管理系统和远程运维策略，提升了设备运行稳定性、可靠性和安全性。

(3) 融合 AI、物联网、云计算等技术搭建了水环境智慧监管平台，创建了适用于源网厂河湖一体化的在线监测体系，可应用于污染预警、污染溯源等场景，支撑水系统小尺度精细化管理。

五、应用案例

项目名称：北京市量子点“水环境侦察兵”在线监测系统

项目概况：北京市依托于量子点光谱水质一体化智能监测设备建设了“水环境侦察兵”系统，首次实现了超大城市水系统高密度水质时空态势感知网络体系的建设及应用。自 2021 年 12 月起，已分三期在北京市 16 个区的河流、湖泊、景观水体的关键点位布设了 400 个水质监测点，覆盖 10 余个典型场景，对接“北京市河长制湖长制信息管理系统”PC 端和“北京河长”App；实时掌握北京市河湖水质状况，实现水环境污染事件的告警、核实、处置功能，为北京水环境监管提供有效的技术支撑。



图 3. 北京市“量子点水环境侦察兵”布设及应用

实施周期及内容：项目总实施周期约 8 个月，内容如下：

①点位选择：选取北京市国考监测断面、入河排水口、污水处理站等地，覆盖河湖水域重要节点，开展安装布设，进行全时段监测。

②开发数据管理与存储：租赁市级政务云，安装光谱数据处理与建模软件，扩展已有“河长制系统”和“北京河长”的计算存储空间，满足相关功能模块扩展的运行要求。

③对接“河长制信息管理系统”PC 端和“北京河长”APP，新增“水环境侦察兵”应用模块。开发水质实时数据展示、历史数据查询、污染河段定位、污染告警推送、数据汇总报告等功能模块。

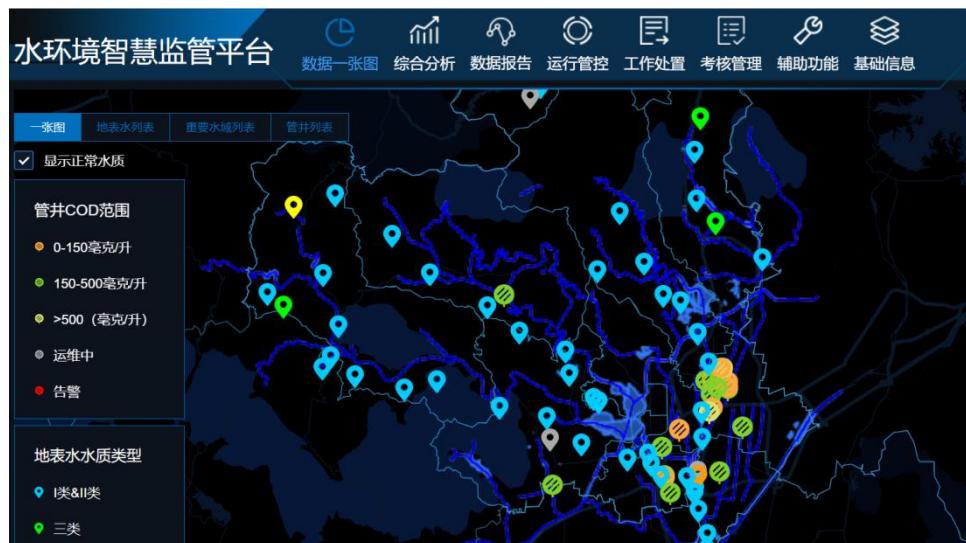


图 4. 水环境智慧监管平台

六、推广前景

本产品融合量子点光谱传感、物联网、云计算等前沿技术，解决了大流域、高频次、低成本的水质原位实时在线数据采集的问题。随着国内对流域水体精细化管理的提升，对量子点光谱水质一体化智能监测设备需求量不断提升，预计未来将在各大流域水体干、支流大范围推广应用，3年内总收入将超过5亿元，产生较好的经济效益。

设备应用时间可达到5-8年，且布设点位可移动，监测过程中不涉及化学试剂，运维成本可降低30%以上，避免了传统监测站对电极、探头、试剂、管路等耗材的消耗，同时降低了运维频次，监测现场无需专人看管，减少了运维期内物资和人员的费用，推广应用前景广阔。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：芯视界（北京）科技有限公司

联系人：葛静

联系方式：13401133065

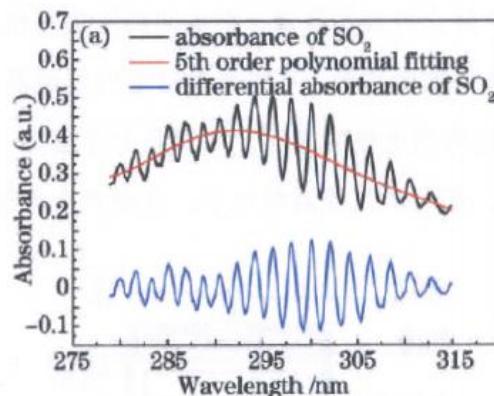
案例四：青岛崂应海纳光电环保集团有限公司紫外烟气分析仪

一、技术适用范围

广泛应用于环保、检测公司、工矿企业、卫生、安监、科研等领域。尤其针对高湿、低浓度排放的各种锅炉、烟道、工业窑炉等固定污染源中烟气成分的现场分析及氨逃逸监测。

二、技术原理及工艺

采用热湿法测量，全程伴热，采样过程中水分完全气化，避免水分对于气体的吸附损失，保证测量精度；采用一体化设计，集取样、过滤除尘、除水、分析于一体，功能高度集成，无需繁琐的管线连接，使用更便捷；内置气幕保护功能，有效避免气室污染；内置大容量可更换锂电池，满电情况下，可连续工作不低于3小时。



三、技术指标

SO_2 、 NO 、 NO_2 、 NH_3 、 O_2 、 CO 、 CO_2 示值误差：不超过 $\pm 5\%$ ；重复性： $\leq 2\%$ ；响应时间： $\leq 90\text{s}$ ；稳定性：1h 内示值变化不大于 5%。

四、技术特点及先进性

1.光谱仪自主设计生产

紫外烟气分析仪设计并开发了微型光谱仪(如图 1 所示)，达到部分指标超过进口产品，实现了进口替代。



自研光谱仪

2. 可拆卸气室

铵盐结晶、VOCs 等特殊工况极易造成气室镜片污染，导致仪器损坏。虽然一些措施(如过滤、气幕等)降低污染，延长使用时间，但无法彻底避免污染。针对气室污染情况，为进一步提高仪器可维修性，创新性设计了可拆卸气室(如图 2 所示)，当气室污染时可以轻易将气室拆出，进行清洗维护，极大的提高了产品的可靠性。

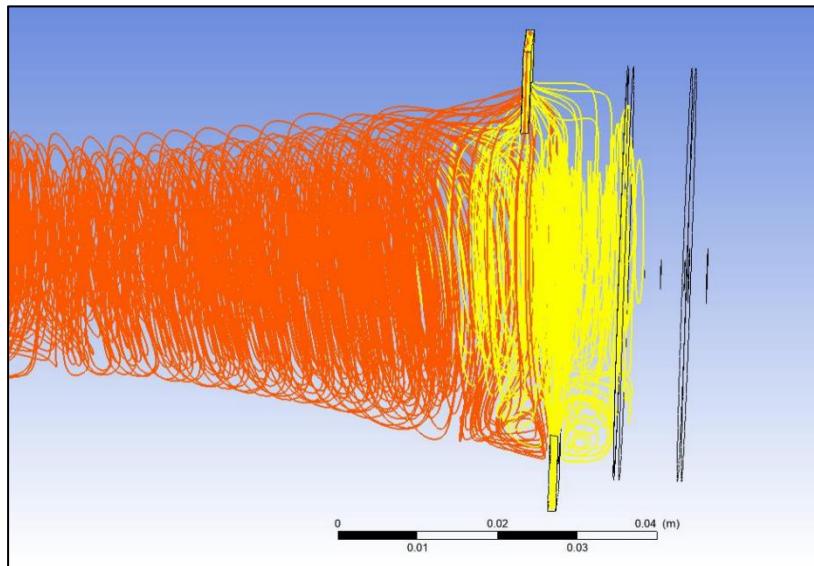
3. 双透镜设计

为提高产品检测限，实现超低浓度气体检测，常规紫外烟气分析仪均采用长光程设计，光程增大后，带来了色散严重、光强能量不足等问题，对测量结果影响极大。针对该问题，创新性提出双透镜设计思路，实现光强聚集，满足光学系统需求。

4. 气幕防护技术

与冷干法仪器相比，热湿法紫外烟气分析仪烟气会首先接触气室，烟气中的铵盐、VOCs 等气体更容易污染气室镜片，导致仪器故障。

为降低气室污染问题，延长仪器维护间隔，申报产品采用气幕技术(如图 3)实现了光学窗片的有效保护。



气幕仿真图(红色为烟气，黄色为气幕保护气)

5、高温氨气检测技术

氨气是 PM_{2.5} 的重要前体物之一，对雾霾的形成有重要的影响，污染源氨逃逸是环境空气中氨物质的一个重要来源。氨近年来，随着国家环保要求越来越高，氨对空气质量的影响引起了社会的广泛关注。常规紫外烟气分析仪主要用于测量 SO₂、NO 和 NO₂ 三种气体针对氨气检测需求，申报产品利用氨气在紫外波段吸收特性，设计开发了氨气检测功能，同时根据氨气低温(低于 180°C)易结晶特性，采用高温检测方案，实现了紫外氨气测量。

6、紫外硫化氢测量

目前市面常见紫外烟气分析仪硫化氢的测量主要是基于定电位电解法，存在交叉干扰严重、使用寿命短(小于 1 年)等不足。针对硫化氢监测需求，申报产品基于硫化氢在紫外段吸收，并根据硫化氢无

差分信号的特性(更不易检测)，创新性采用等效差分检测技术，实现了硫化氢气体的准确可靠检测。

五、应用案例

项目名称：某市环境监测中心对辖区内大型燃煤电厂脱硝系统氨逃逸监督检测项目

项目所在地：山东省某市

(一)项目概况

响应超低排放监管要求，某市环境监测中心采用崂应 3023Y 型紫外烟气分析仪对本地大型燃煤电厂脱硝装置出口进行氨逃逸及烟气成分现场检测。连续多点采样，自动模式下与 CEMS 系统同步比对，数据实时显示并自动保存，检测结束后一键打印报告。检测结果显示，氨逃逸浓度均低于国家标准，数据准确可靠，为电厂优化脱硝工艺和环保验收提供了有力依据。

(二)实施内容及周期

仪器一体化设计便于携带，现场快速组装，配合可拆卸取样管，适应高空烟道环境。测量过程中，仪器自动检测气密性，内置帕尔贴制冷高效除水及加酸装置，有效消除高湿与干扰组分影响，精准测定 NH₃、NO_x、SO₂等组分。实施周期 7 天。



六、 推广前景

随着环保要求的日益严格和工业领域对烟气排放监测的重视程度不断提高，崂应 3023Y 型紫外烟气分析仪凭借其先进的技术和可靠的性能，有望在未来 3 年内实现较高的普及率。预计在重点污染行业，如电力、钢铁、化工等，普及率将达到 80% 以上。同时，随着技术的推广和成本的降低型紫外烟气分析中小型企业对崂应 3023Y 紫外烟气分析仪的采用率也将逐步提升，整体普及率有望达到 60% 左右。崂应 3023Y 紫外烟气分析仪的应用将帮助企业实现烟气排放的精准控制，其带来的经济和社会效益也将显著提升，为推动我国环保事业和经济发展做出积极贡献。

七、 支撑单位信息

支撑单位名称：青岛崂应海纳光电环保集团有限公司

联系人：王笑

联系方式： 18805323096

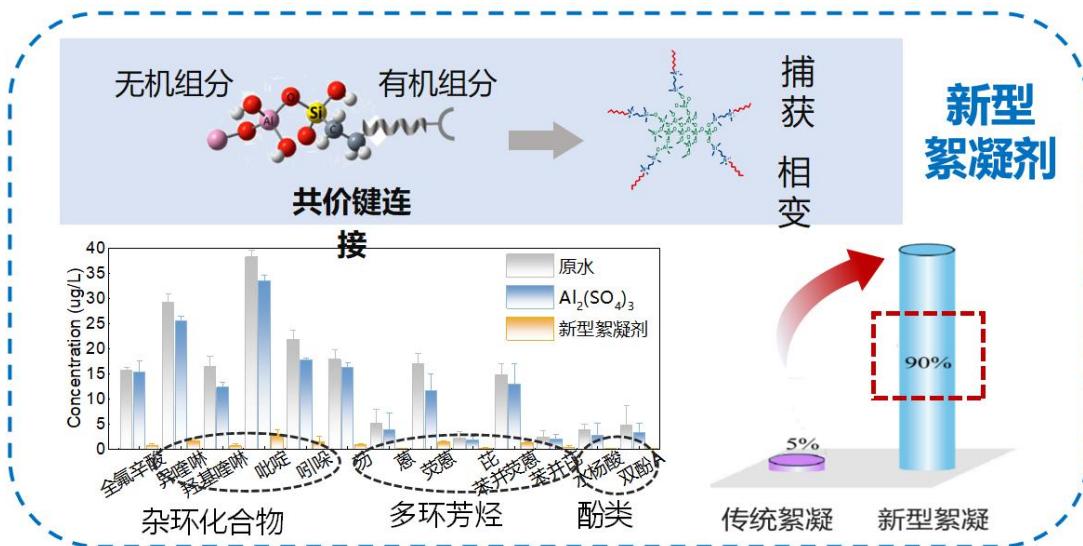
(六) 环境污染防治专用材料与药剂

案例一：中企国云环保科技有限公司基于凝聚调控多污染物协同去除的深度絮凝药剂

一、技术适用范围

深度絮凝药剂适用于垃圾渗滤液及浓缩液、餐厨沼液等高浓度有机废水以及焦化废水、钢铁废水、造纸废水等难降解有机废水的处理。

二、技术原理及工艺



深度絮凝药剂技术原理

基于絮凝剂构效关系和形态调控的学术思路，通过改变絮凝剂的分子机构，调节絮凝剂行为，提高絮凝剂结构的稳定性，利用硅烷偶联剂将絮凝剂无机和有机组分以共价键连接，制备出兼具相变功能和吸附功能的共价键型杂化新结构(-O-Si(R₁R₂)-O-Al-O-)，实现溶解性有机物絮凝去除，打破了 20 多年来无机和有机絮凝剂仅以物理混合的

使用模式。并在此基础上，研发出仿海葵调控絮凝剂结构方法，使絮凝剂无机外壳围绕有机内核稳定有序排列，克服了共价键型絮凝剂无机和有机组分交联反应引发絮凝剂失稳且干燥后难溶失效的问题。进一步在无机-有机共价键型絮凝剂制备过程中引入疏水粉体，结合固体分散耦合喷雾干燥技术，制备出溶解性高、结构稳定的共价键型杂化固体絮凝剂，能够在工程现场快速溶解和使用，为产品实现工业量产及工业化应用提供了保障。



SC-101L 絮凝药剂



SC-102S 絮凝药剂

三、技术指标

对垃圾渗滤液行业生化尾水有机物的去除率可达到 60~95%，对焦化废水生化尾水有机物去除率可达到 50~60%。

药剂指标：SC-101L 红褐色粘稠液体，相对密度 1.40~1.50g/cm³，pH（1%水溶液）=2.0~3.0，金属氧化物含量≥14%，不溶物≤1%。

SC-102S：黑色固体粉末，堆积密度：0.65-0.70g/cm³，pH（10%水溶液）=6~9

四、技术特点及先进性

通过投加絮凝药剂（SC-101L 和 SC-102S）实现难降解溶解性有

机物高效去除的物化技术，具有以下技术特点：

1) 处理效率高，强化了溶解性小分子有机物的去除，实现 COD 的深度去除，去除效率可达 90%以上。

2) 协同处理能力强，反应条件宽泛，处理效果稳定：协同去除悬浮物、色度、氨氮与硬度，系统处理稳定，适用性范围广，抗冲击能力强。

五、应用案例

案例一：

项目名称：青岛小涧西垃圾渗滤液浓缩液深度絮凝改造及药剂供货

项目所在地：山东省青岛市

项目概况：该项目建设 $500\text{m}^3/\text{d}$ 的浓缩液处理设施，但该项目自 2021 年投运以来，存在浓缩液运行能力严重不足、不稳定、蒸发器结垢与起泡严重、母液产率高等问题。

浓缩液处理系统采用深度絮凝改造后，浓缩液处理系统得到极大改善：有机物去除率提高至 50%以上，系统处理能力由 $300\text{m}^3/\text{d}$ 提升至满负荷 $500\text{m}^3/\text{d}$ ，母液量由 $100\text{m}^3/\text{d}$ 降为 $40\text{m}^3/\text{d}$ ，实现了浓缩液园区全量化处置。吨水处理能耗节省 28%， CO_2 年累计减排量 6500t。





六、推广前景

随着日益严格的环保要求及提质增效的急迫需求，深度絮凝技术作为典型的低碳低耗先进技术有着广泛的应用前景。在焦化废水典型行业年需求约 5 亿元，渗滤液及浓缩液年市场需求约 1 亿元，随着在其它典型工业废水处理应用领域的推广，该技术的市场前景将更为广阔。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：中企国云环保科技有限公司

联系人：张凯

联系方式：13466747833

(七) 噪声与振动控制

案例一：国网（西安）环保技术中心有限公司变电站噪声调控成套装置

一、技术适用范围

电力、建筑、交通、制造等领域装备及场域噪声控制。

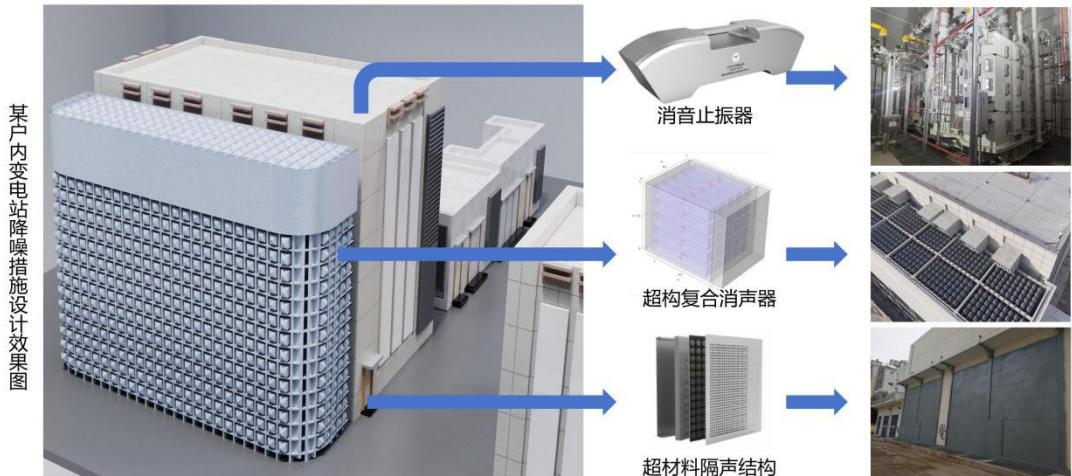
二、技术原理及工艺

变电站噪声调控成套装置融合消音止振与超构消隔声技术，通过噪声“精准治理与防控”，针对性解决变电站低频噪声问题，实现高效精准降噪。其中，消音止振器基于动力吸振原理，综合阻尼减振、吸声、隔声等技术，其主要作用频带为弹簧-振子系统共振频率附近。设计消音止振器作用频率与电力设备声振特性相匹配消音止振器，通过将其附连与电力设备表面，可有效地吸收和消耗电力设备的低频线谱振动，进而实现电力设备低频噪声精准控制。

超构复合消声器基于四分之一波长管理理论，针对变电站不同频率低频噪声控制需求，设计不同长度的吸声腔，通过盘绕方式有效节省空间。设计中，吸声腔嵌入到多孔泡沫吸声材料中，吸声材料固定在气流通道内壁或按特定方式在管道中排列起来，利用吸声材料摩擦阻力和粘滞力将声能转化为热能而散发掉，从而实现全频段高效消声。

超材料隔声结构基于双层板隔声理论与广义斯涅尔定律，由两块隔声板拼接组装而成，采用泡沫三明治夹心结构（有加强筋）。隔声结构各层板与加强筋由整体铝合金加工而成，以保证其良好的结构性和整体刚性。三明治结构夹心为曲折空腔层，通过梯度多孔材料和迷

宫插排设计，优化声波传播路径，实现低频噪声高效控制。同时，在噪声源方向隔声板外侧加强筋之间布置阻尼材料，内部泡沫填充，进一步提高隔声罩全频段隔声性能。



变电站噪声调控成套装置组成示意图

三、技术指标

消音止振器作用频率可调，范围涵盖 80Hz~140Hz，190Hz~230Hz；频率偏差<1%；设备本体降噪量 5dB~9dB；超构复合式消声器较传统阻抗复合消声器降噪提高量>5dB (100Hz~400Hz)；玻璃纤维棉使用减少量>14.7%；超材料隔声结构厚度≤35 mm；隔声量>25dB (100Hz~150Hz)；平均隔声量>40dB (400Hz~2000Hz)；处理后厂界噪声可达《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)要求。

四、技术特点及先进性

消音止振器系统性集成动力吸振、阻尼减振、吸声、隔声等技术，通过附连安装于电力设备表面，精准高效吸收和消耗电力设备低频线谱振动噪声。

超构复合消声器通过缠绕式空腔设计，同时利用多孔吸声材料对声波的摩擦和阻尼作用，实现全频段高效消声。超材料隔声结构通过特殊几何构型调控声波传播，同时利用梯度多孔材料和迷宫插排设计优化声波传播路径，进一步强化低频隔声性能。

装备投入使用后无需维护，不产生运行费用。在不影响变电站设备安全稳定运行、不对环境产生任何污染物的条件下，控制了变电站厂界噪声，减少了变电站低频噪声对周围居民的环境影响，提升了变电站（换流站）周围声环境质量与水平。

五、应用案例

项目名称：城南 330kV 变电站降噪技术应用

项目概况：城南 330kV 变电站站址位于陕西省西安市南二环和文艺路十字西北角，北临供电局文艺路营业部住宅楼，南临二环南路（东段），西邻迈科星苑商住楼，东临雁塔 110kV 户内变电站，是国内首座城市地下 330 千伏变电站。采用了“地面对位标识展示+建筑外立面与文物形态相呼应”的方案，为全国首座与文物展示合建的变电站工程。项目噪声控制专项经费 1520 万元，变电站于 2025 年 5 月 11 日正式投入运行。变电站综合应用本套装备，实施贯穿设计、性能检测、专业定制、现场应用、性能调试的一整套解决方案，实现全站系统性、专业化综合防治。项目的实施有效避免了变电站厂界噪声及敏感目标处噪声超标问题，与投运前相比变电站噪声变化控制在 -1.8~2.2dB(A) 之间，基本实现噪声“零感知”，规避其带来潜在违法及社会风险。城南 330 千伏变电站消音止振、超构复合消声及超构隔声等降噪措施的综合运用最大程度消除了噪声影响，在筑牢文物保护防线的同时实现变电站安静化运行，助力其与城市环境深度相融，有效

破解城市核心区域输变电工程落地困境，为城市用电保障与区域经济提质增效提供强劲支撑。



城南 330kV 变电站噪声调控成套装置应用现场照

六、推广前景

本技术装备已在国网公司一级电商平台、国网陕西电力二级电商平台部署，未来三年按每年各网省公司治理 1-2 座变电站，每站治理费用 50-300 万元计算，每年可完成 30 余座变电站噪声达标治理，年产值有望实现 4000 余万元。本技术装备除在电力行业应用外，也可应用于其他行业，如石油化工、轨道交通等低频线谱噪声的控制及固定设备声源噪声治理。按每年 2-3 项噪声治理工程，每项 50-500 万元计算，有望实现超 1000 万元年产值。除此之外，本技术装备应用后可替代现有 Box-in 技术，避免由此带来的消防风险，有效保障变电站安全运行，促进电网建设运行与社会和谐相容，每年可节约工程造价成本费用、工程变更、设备维修购置费用及投诉处理费用约 2000 万元。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：国网（西安）环保技术中心有限公司

联系人：马建刚

联系方式：19929052918

案例二：南京华泰光声科技有限责任公司声学超构精准降噪装备

一、技术适用范围

适用于能源电力、石油化工、工业生产、轨道交通、航空航天等行业领域低频噪音治理。

二、技术原理及工艺

依据现场噪音特性，基于数据驱动的人工智能算法，完成声学超构材料“声学特性-结构参数”的高效逆向按需设计，实现常规材料不具备的超常声学性能。同时结合材料特性、利用多物理仿真，设计制造出基于声学超构材料的精准降噪装备，从而达到低频宽带高效吸隔声效果。

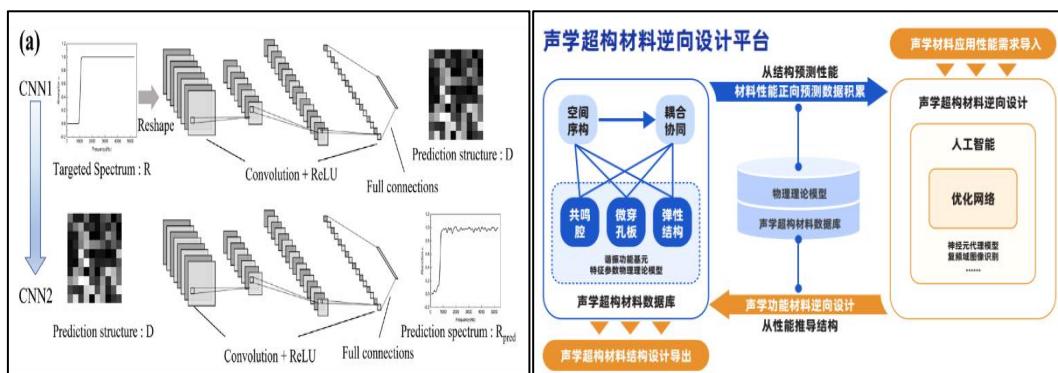


图1 声学超构材料的人工智能算法流程
图2 声学超构材料逆向设计平台

三、技术指标

超构声屏障：降噪系数 $NRC \geq 0.85$; $1/3$ 倍频带实用吸声系数平均值 ≥ 0.78 ($125\sim 500Hz$) ; 计权隔声量 $Rw \geq 39dB$; 平均隔声量 $\geq 30dB$ ($125\sim 500Hz$) ; 超构隔声罩：计权隔声量 $Rw \geq 35dB$; 平均隔声量 $\geq 20dB$ ($125\sim 500Hz$) ; 超构消声器：单位长度插入损失 $\geq 20dB/m$; 平均插入损失 $\geq 18dB/m$ ($125\sim 500Hz$) ;

四、技术特点及先进性

针对此低频噪音污染治理问题，开发了系列基于声学超材料的精准噪声控制装备，聚焦工业场景中低频噪声治理难题。通过亚波长局部共振结构突破传统材料的物理极限，实现小尺寸、轻量化条件下高效吸隔声的超常声学性能，同时兼具通风散热、防火等级高、环境友好、安装方便等多个优势，彻底解决低频噪声穿透性强、衰减慢的行业痛点，填补国内低频噪声治理行业空白。

五、应用案例

项目名称：广东某储能厂家 5MW 大储温控系统声学工程

（一）项目概况：

储能行业热管理系统是储能主要噪声源，具有能量集中的中低频特点。这种噪声传播距离远、穿透力强，传统隔音材料难以有效抑制，构成了控制的主要难点。同时，降噪方案还需兼顾设备散热效率，在有限空间内实现噪声降低和风阻优化等多目标的平衡，技术复杂且挑战巨大。

技术难点：平衡消声量与压力损失

策略实施：通过声学仿真、流体仿真、结构仿真，平衡消声量与压力损失间的矛盾，声学组件的微结构设计让空气分子顺畅通过，同时使声波能量在共振腔中耗散，实现“透风不透声”，达到声、热物理场的统一管理及最佳平衡。



图 6 设计原理图

图 7 工程

实施图

(二) 项目经济和社会效益

1、经济效益：

技术装备采用的是声学超构材料，使用寿命是传统材料 3-5 倍，寿命可达 10-15 年，按照成本均摊法则，年平均降噪成本相当于传统材料的 1/3。客户引入技术装备同时也消除了因噪声不达标导致的行政罚款、环保补贴扣除等不良经济影响。

2.社会效益：

打破国外打破国外高端声学技术垄断，填补国内声学超材料逆向设计空白；降低变电站、储能厂界人员及周边居民健康风险（如听力损伤、心理压力、心血管疾病等）；将带动上游基材产业和下游低噪声设备制造、噪声治理等产业发展。

有助于减少工业企业噪声问题带来的社会困扰和投诉事件，提升社会整体的声环境质量，帮助建立更加舒适宜居的生态环境与社会环境，助力“宁静中国”建设。

六、推广前景

噪声治理是一项民生工程，从市场趋势分析，一方面，随着声学超材料产业化加速，市场正由导入期迈向爆发期；另一方面，国家对

噪声污染的重视及民众对生活品质要求的提升，促使需求不断释放，预示市场将持续增长。

预计 3 年后降噪技术装备会在能源电力、石油化工、工业生产、甚至交通运输、建筑施工和社会生活等领域全面铺开，行业也如雨后春笋出现爆发式增长。

我司行业推广会以电力能源、石油化工、半导体等几个龙头企业为先锋示范，其投入及产出回报比会形成市场化规模效应，未来 3 年预计行业普及率会逐步提升，将带动上游基材产业和下游低噪声设备制造、噪声治理等产业更加繁荣发展。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：

联系人：郭成

联系方式：13605167971/guocheng@imeta-center.com

（八）环境污染防治设备专用零部件

案例一：广西博世科环保科技股份有限公司上流式多相循环抗钙型厌氧反应器

一、技术适用范围

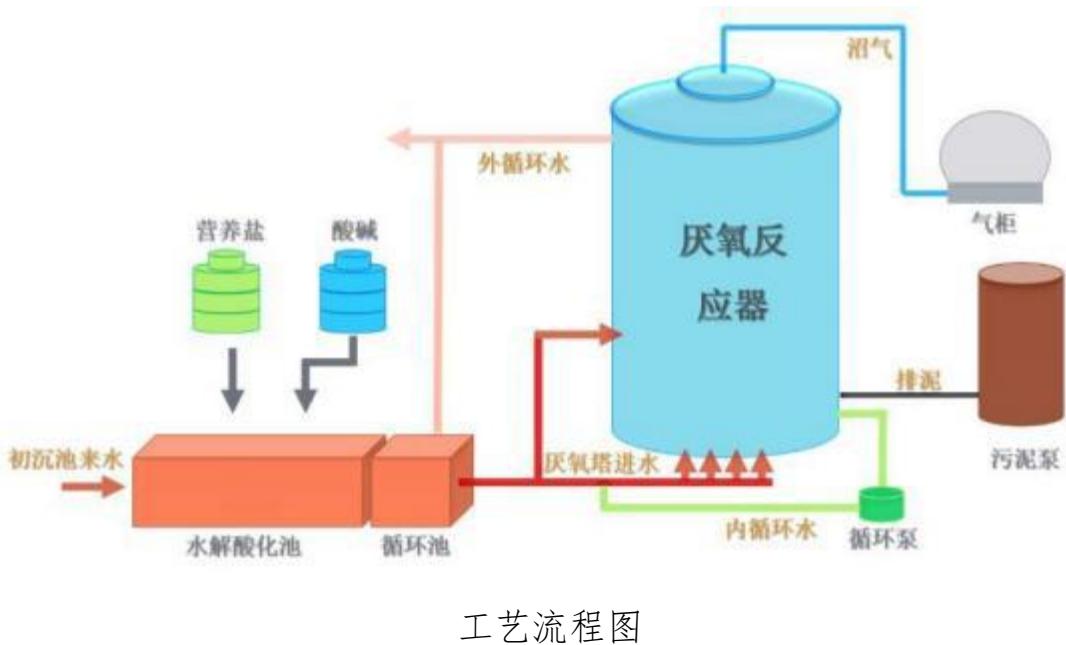
主要应用于制浆造纸、制糖、淀粉、酒精、制药、发酵等高浓度有机物工业废水治理，特别是针对再生纸、柠檬酸等高钙高浓度有机废水的处理。

二、技术原理及工艺

上流式多相循环抗钙型厌氧反应器是针对第三代厌氧反应器在再生纸造纸废水处理过程中，易发生系统钙化，导致系统运行处理效率降低的问题，从颗粒污泥微观层面、反应器内微环境变化的角度解释钙化过程对厌氧颗粒污泥活性的影响机理，通过研究高浓度有机废水处理过程中原料浸出物与添加剂对厌氧系统的影响，从调控反应器微环境及优化反应器流态抑制颗粒污泥钙化的角度出发，完成反应器规模化、系列化研究与装备设计，优化内件设计，开发一套新型的抗钙化运行厌氧反应器，能够在钙离子浓度 800-6900mg/L 的高钙环境下稳定运行，解决高钙废水厌氧处理污泥钙化、钙截留量大、COD 去除率低、处理效果不稳定等问题。

该装备经过预酸化池的废水投加了营养盐和酸碱后，通过循环泵与厌氧出水外循环水混合后分别通过底层布水系统和上层布水系统

进入反应器。在反应器内废水与颗粒污泥充分接触，在厌氧菌的作用下废水中的大部分有机物被转化为甲烷和二氧化碳。产生的沼气通过厌氧塔顶部的锥型结构导流收集后至沼气柜，部分经过一级气液分离的废水通过低扬程循环泵输送至厌氧塔进水，形成内循环，厌氧塔出水部分由顶部出水管流出，另一部分回流至循环池内。



三、技术指标

稳定运行状态下 SCOD 去除率可达 70~85%，沼气产率约 0.35~0.45m³/kgCOD，颗粒污泥产率 0.01~0.025 kgTS/kgCOD，污泥沉降速率达到 100~180m/h，进出水钙离子截留量 < 200mg/L；厌氧反应器处理水量在 2000~8000m³/d，系统进水 SCOD 4500~6000mg/L，系统出水 SCOD 1000~3000mg/L，VFA ≤ 5mmol/L，满足进入好氧系统进一步开展生化处理要求；系统产生的沼气经变压吸附沼气净化后，H₂S 浓度低于 100 ppm，甲烷含量达 90%以上，满足进入锅炉燃烧和发电的要求。

四、技术特点及先进性

上流式多相循环抗钙型厌氧反应器是公司针对高浓度有机废水处理领域新需求，自主开发，独立设计的一种新型厌氧反应器。目前，该产品获得授权专利 6 项，其中美国发明专利 1 项，国内发明专利 1 项，实用新型专利 4 项。制定《上流式厌氧反应器》(JBT 10669-2016) 行业标准 1 项。该产品具备以下先进性：

1、通过采用了上流式多相循环抗钙型厌氧反应器系统处理粤北某再生纸厂产生的废水，调试期结束后，厌氧系统进水量 $40\text{m}^3/\text{h}$ ，COD 容积负荷最高可达 $12\text{kgCOD/m}^3\cdot\text{d}$ ，污泥负荷超过 0.3kgCOD/kgTSS ，厌氧系统去除率超过 80%，系统沼气产率平均值在 $0.42\text{m}^3/\text{kgCOD}$ ，达到业内先进水平。

2、通过采用上流式多相循环抗钙型厌氧反应器，在投加混酸的钙化控制工艺条件下，通过提高内循环流量，增加上升流速；将厌氧出水 pH 控制在 ≤ 7.0 ，厌氧反应器进出水钙离子截留量控制在 100mg/L 以内。

3、该反应器具有以下技术经济优点：①投资成本低。容积负荷可达 $8\sim 18\text{kgCOD/m}^3$ ，高度可达 $20\sim 28\text{m}$ ，缩减占地面积，节约投资成本。②运行成本低。该系统正常运行过程中，仅需投加少量营养盐和阻垢剂，不计沼气和颗粒污泥的销售收益，运行成本 $< 0.8 \text{ 元/m}^3$ 。③无二次污染治理：系统采用全密封设备，不会产生臭气；产生的污泥无需另行处理；经处理后的污水进入后续好氧系统处理，不产生二次污染治理的费用。④资源综合利用比例高：系统正常运行过程中，甲烷产率为 $0.35\sim 0.45\text{m}^3/\text{kgCOD}$ ，可用于自备电厂和锅炉的替代燃料；系统颗粒污泥产率 $0.01\sim 0.025 \text{ kgTS/kgCOD}$ ，产生的颗粒污泥可

以存储在塔内或污泥储罐中用于二次销售。(5)设备折旧：系统使用寿命超过 10 年，年产沼气和颗粒污泥的收益超过设备折旧速度。

五、应用案例

1、项目名称

潮州市某纸品有限公司污水处理系统技改项目

2、项目所在地

广东省潮州市

3、项目概况

该公司利用废纸制浆生产普通瓦楞纸，日产废水量 1500 吨，原有污水处理工艺为物化沉淀+生化，近年来因增产不增排，原有污水处理系统达不到处理要求。广西博世科环保科技股份有限公司根据该废水特点在原有酸化池与 A/O 段之间新增一套高效厌氧处理系统，将原有曝气池改造成 A/O 系统，并在好氧段后面新增芬顿高级氧化系统，以使废水达到当地排放标准要求。项目建成后由广西博世科环保科技股份有限公司调试正常后移交业主运行，并定期跟踪回访设备运行情况。

4、应用效果

项目实施前受到出水水质的制约，无法实现出水回用。通过该污水处理项目的实施，提高了出水水质，帮助该公司减少新水耗用量 500 吨/天用于前端生产，相当于为该公司节水 500 吨/天，中水回用率增加 28%，节水量为 18.25 万立方米/年，单位产品的的新水耗量由 $7.2 \text{ m}^3/\text{t}$ 降为 $4.3 \text{ m}^3/\text{t}$ ，单位产品的废水产生量由 $6 \text{ m}^3/\text{t}$ 降为 $4.8 \text{ m}^3/\text{t}$ 。增产沼气 $1722 \text{ m}^3/\text{d}$ ，利用沼气锅炉可替代原有燃煤锅炉系统，节约燃煤资源。经济效益说明：通过该污水处理项目的实施，能够保证企

业满负荷生产的情况下，产生的污水达标排放。

六、推广前景

随着国内外居民消费能力的提升，作为商品包装纸的再生纸消耗量将随着居民购买力的提升而增加。预计在3年后采用废纸箱作为原料的再生纸企业普遍将迎来技术更新和产能攀升期，该技术的普及率可进一步提升十个百分点至25%，包含该设备在内的污水站新增和技改总投入将超过20亿元，年COD减排总量超过20万吨，在进一步促进企业的经济效益增长，增强企业自主创新能力提高市场核心竞争力的同时，可以有效助推制浆造纸企业良性发展，满足国内外再生纸需求的快速增长，也在解决再生纸企业污染物排放问题的同时，提高造纸和发酵废水生物质能（沼气）和再生水回用程度，实现超低排放，有利于保护生态环境，提高人们生活居住质量，产生良好环境效益。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：广西博世科环保科技股份有限公司

联系人：朱琦

联系方式：13077774500

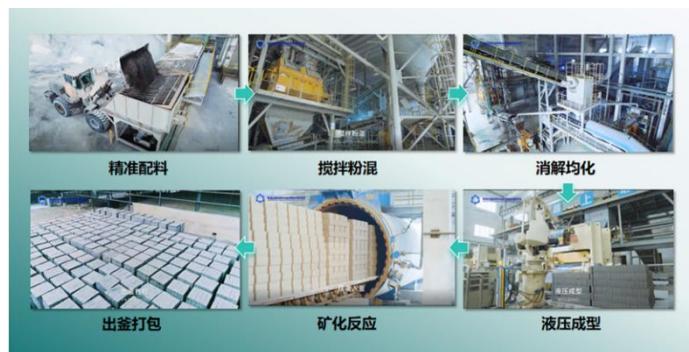
案例二：江苏集萃功能材料研究所有限公司工业固废矿化二氧化碳制备高质负碳建材的关键技术装备

一、技术适用范围

适用于钢渣、镁渣、电石渣等工业固废与炼铝厂烟气、燃煤电厂、化工厂、钢铁厂等 CO₂ 烟气治理

二、技术原理及工艺

针对我国工业固废特点，以钢渣、电石渣、煤气化灰渣等常见工业固废等为主要原料代替水泥，采用自研发的多元固废活化体系与 CO₂ 高效传输设备，通过矿化养护工艺，创新实现了无热源条件下坯体性能显著提升，并大量固定封存 CO₂，制备出的多品类高值负碳建材产品均达到或优于国家/行业标准要求，达成了工业烟气高效捕集再利用，形成了高碳排行业固废与烟气协同批量处置的全新技术路径。



三、技术指标

处理时间：45t 固废/h；单条标线年处理量：30 万 t 固废/a，4 万 tCO₂/a；固废掺比≥95%，最高达 100%；CO₂ 原料气浓度 10~100%，CO₂ 利用率≥95%，每吨 CO₂ 捕集能耗≤300kW·h，碳减排单位成本≤45 元/t CO₂；固废负碳建材矿化温度 40~80°C、矿化时间 6~12h、矿化压力 0.1~0.6MPa；产品固碳率≥15%（固定 CO₂ 质量与产品质量比）。

四、技术特点及先进性

本技术使用烟气可为工厂直排 CO₂ 烟气，适用各类 CO₂ 浓度（浓度 10~100%），打破了当前矿化技术对高浓度 CO₂ 反应环境（浓度 85~100%）的硬性要求，减少了 CO₂ 预处理浓缩过程产生的额外能耗及成本，实现了工业固废与烟气 CO₂ 的循环利用。此外，该技术装备能够促进工业废渣中的重金属固相包裹与稳定化，降低其在环境中的迁移性，减少重金属及污染物溶出风险，避免对水体和土壤产生二次污染。

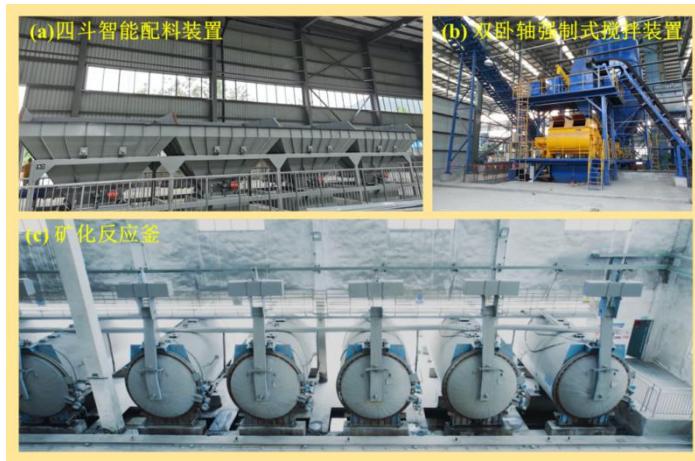
五、应用案例

项目名称：“国内首个万吨级 CO₂ 矿化制备全固废负碳建材生产线·安徽合肥”项目

项目概况：项目占地 200 亩，总投资 7000 万元，建有 4 条矿化生产线，配套成型机 7 套和 10 条矿化反应釜

项目应用前：原项目的建材生产工艺主要采用用饱和蒸汽在蒸压釜里进行水化反应，蒸一釜砖消耗 6~8 吨蒸汽，蒸一釜砖约 1400 元。以标准双砖机为例的标准生产线计算，年产 1 亿标块，大约 2000 釜，则年蒸汽费 280 万。

项目应用后：改造后的项目当前有 4 条矿化生产线在运行，完全年节省蒸汽费约 980 万，年处置合肥市及周边区域的各类工业固废 85 万吨以上，年产 3.6 亿块再生资源化产品（折标砖），全套产线吸收 208918.920(tCO₂/a)，碳减排共计 195267.329(tCO₂/a)，有效缓解了合肥当地的固废堆存处置压力。



六、推广前景

截至目前，我国工业固废历史堆存量已超过 600 亿吨，占地超过 200 万公顷，主要分布于京津冀及周边地区、长三角和粤港澳大湾区、黄河流域，以及西南地区等工业/制造业发达地区。此外，我国年碳排放量约为 85 亿~95 亿吨 CO₂，行业降碳问题较为严重，碳捕集与利用进展缓慢。从中长期角度预测，随着固废矿化处置技术的成熟和政策支持，此项技术普及率将快速提升，应用范围逐渐辐射至京津冀、内蒙古、山西、陕西等更多地区，3 年后普及率预计将超过 15%。以推广应用后在全国年处置各类工业固废量达到 6 亿吨估算，碳减排总量达到 8000~9200 万吨/年，产线基地建设投资约 400 亿元，处置运行总成本约 540 亿元/年，处置利用总收益达到 960 亿元/年，总利润约 224 亿元/年。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：江苏集萃功能材料研究所有限公司

联系人：吴寅佳

联系方式：18112762852

(九) 减污降碳协同处置

案例一：江苏中创清源科技有限公司烟气多污染物深度治理耦合高效碳捕集技术装备

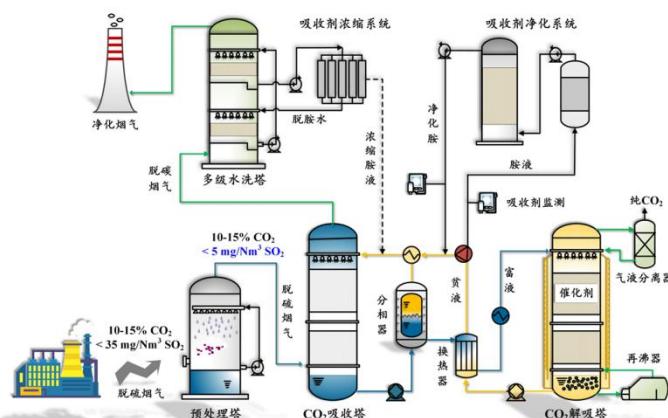
一、技术适用范围

适用于钢铁、建材和石油化工等重点行业新建化学吸收法烟气碳捕集装置项目以及已建碳捕集项目节能提效改造项目。

二、技术原理及工艺

该化学吸收法碳捕集工艺是利用吸收剂与烟气中 CO_2 发生可逆化学反应，实现 CO_2 选择性分离的技术， CO_2 解吸过程在解吸塔内完成，并配合高效热质传递装备、余热综合利用、吸收剂净化回收等一系列先进清洁高效胺法碳捕集技术，大幅降低该工艺能耗。同时搭配离子树脂及分压蒸馏装置，实现吸收剂的高效稳定运行。

碳捕集系统包括烟气预处理塔、吸收塔、解吸塔、高效换热器、吸收剂净化装置、碳捕集烟气后处理装置、解吸 CO_2 处理装置、通讯和控制设备等。



技术装备工艺流程图

三、技术指标

1、碳捕集技术指标

CO₂捕集率高达90%以上，捕集的二氧化碳纯度达99.5%以上，吸收剂再生热耗低至2.2GJ/tCO₂，溶剂损失速率低于0.3kg/tCO₂。

2、污染物控制指标

(1) 现有国家燃煤锅炉污染物控制指标：颗粒物≤10mg/m³，SO₂≤35 mg/m³，氨逃逸浓度<8mg/m³。

(2) 达到的污染物排放指标：颗粒物排放<3 mg/Nm³，SO₂未检出，氨逃逸浓度<1 mg/m³，远低于国家排放标准。

四、技术特点及先进性

该技术装备目前处于国内领先水平，主要包括以下几个方面：①建立了溶剂氢键网络调控耦合胺组分极性控制的吸收剂设计方法，发明了高载量、低粘度多元复合胺新型吸收剂和固体酸解吸再生催化剂，形成了支撑燃煤烟气清洁高效碳捕集的核心材料体系，河北建滔项目中碳捕集效率>90%，再生热耗≈2.2 GJ/t CO₂，在国内处于领先水平；②研制了一体化变压精馏与离子树脂交换的溶剂热稳定盐等杂质净化装备，实现吸收剂长期稳定运行，截至目前河北建滔能源发展有限公司烟气多污染物深度治理耦合高效碳捕集项目已稳定运行4500小时以上，吸收剂损耗<0.3 kg/tCO₂；采用多级水洗控制胺逃逸，结合水洗液浓缩分离处理，同时实现有机组分回收利用与系统水平衡的动态调节。③采用了贫富液高效换热、级间冷却、两级并行再沸器等

高效热质传递技术装备，提高系统的负荷适应性与能量利用效率。综上，该清洁高效碳捕集技术目前处于国内领先水平。

五、应用案例

项目名称：河北建滔能源发展有限公司燃煤烟气多污染物深度治理与碳捕集利用(20 万吨/年)项目

项目所在地：河北邢台

项目总投资 19457 万元，2022 年 12 月投用，目前已投入生产运行超过 2 年，系统运行稳定，碳捕集率高达 90%以上，捕集的二氧化碳纯度达 99.5%以上，全部回收用于现有冰醋酸生产系统，每年可直接降低生产成本近 3000 万元，同时可减少近 4000 辆次/年重型大卡车循环运输带来的排放污染，形成“排放—捕集—利用”闭环循环。吸收剂采用双向分离有机胺溶剂进行碳捕集，吸收剂再生热耗低至 2.2GJ/tCO_2 ，损失速率低于 0.3kg/tCO_2 ，解吸塔结合催化材料促进液相二氧化碳的解吸速率，具有碳捕集效率高、系统安全可靠等优点。

在污染物治理方面，项目通过协同处理工艺， SO_2 、烟尘等烟气污染物经过碳捕集后达到近零排放水平，可挥发性有机物排放浓度低于 5mg/m^3 、氨排放浓度低于 1mg/m^3 ，远优于国家及地方标准。这一技术突破不仅解决了燃煤烟气的多污染物协同治理难题，还通过全烟气量碳捕集与超低排放的深度融合，技术成果通过中国环境学会组织的鉴定，鉴定专家认为整体达到国际领先。



图 2-2 示范项目现场图

六、推广前景

在电力、钢铁、水泥、化工等高碳排放行业，化学吸收法碳捕集装备的普及率将快速提高。例如，燃煤电厂领域，随着华能等企业示范项目的成熟，普及率有望突破 50%；水泥行业设备渗透率或达 30% 以上，推动单位碳捕集成本降低至 250 元/吨。

总投入规模扩大：政策驱动下（如《2030 年前碳达峰行动方案》），国内碳捕集领域年投资规模预计超千亿元，其中化学吸收法占比约 40%。仅水泥行业低碳改造的年投入或达 200 亿元，带动产业链研发投入年均增长 15%。

电力行业通过燃煤机组超低排放改造，年减排二氧化碳或超 8 亿吨；水泥行业结合高温热泵技术，单厂年减排量可达数十万吨。全国

范围内，化学吸收法年减排总量预计突破 1.5 亿吨，相当于植树 7.5 亿棵。

驱油封存一体化应用（如胜利油田项目）可提升原油采收率 10%-15%，单项目年增油量超 30 万吨，直接经济效益达 10 亿元。化工领域，捕集的二氧化碳用于生产碳酸酯等产品，年产值或超 50 亿元。社会效益凸显：空气质量改善预计减少呼吸系统疾病病例超 5 万例/年；技术推广将创造 20 万以上就业岗位，覆盖装备制造、运维等高技能领域。依托“一带一路”，化学吸收技术出口规模或增长 50%，主导国际标准制定，提升全球碳市场话语权。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：江苏中创清源科技有限公司

联系人：李宁

联系方式：15518798876

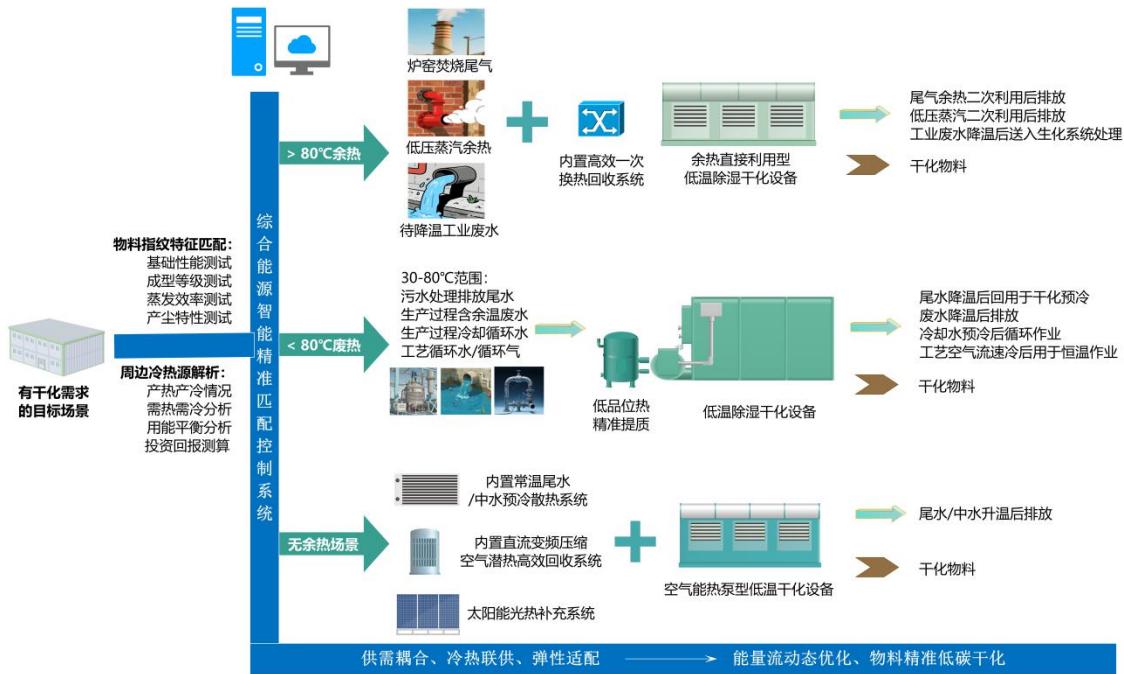
案例二：广东吉康环境系统科技有限公司基于能源弹性策略的高效节能低温干化装备

一、技术适用范围

适用于市政污泥干化减量；电镀、化工、石化、印染、造纸、医药行业等工业污泥（包括危废污泥）干化减量处理；沼渣、酱渣、酒糟、果渣、煤泥、药渣、园林垃圾、铝灰水洗尾渣等其他固体废物干化减量处理。

二、技术原理及工艺

本技术低温干化系统以“湿度梯度驱动水分迁移”和“回热循环实现能量闭环”为核心原理，两大机制协同支撑系统高效运行：通过适配不同能源场景的除湿-再热架构，构建物料与气流间的高湿度梯度场，强化水分“内部迁移-表面蒸发-气相扩散”的全链传质动力；依托回热循环结构，持续捕获并回收湿热空气中的显热与相变潜热，实现热能梯级循环利用，大幅降低系统净能耗。同时，低温干化系统与多源热能互补、智能调控技术深度耦合，最终实现无余热、 $>80^{\circ}\text{C}$ 余热及 $<80^{\circ}\text{C}$ 废热三类场景下低温干化的高效、低碳与稳定运行。同时，研制“标准泥”低温干化机组能效测试方法，攻克双风道大风量定型、梯级在线除尘清尘、出料移动式泥封屏障等关键技术，有效解决机组出厂能效测试难、高粘性物料成型差、循环风携带粉尘、局部热平衡控制等行业共性难点问题。



三、技术指标

干化进料含水率 85~40%，出料含水率 30~5%。按能源适配场景需求，不同机组核心参数如下：

- ① 空气能热泵型（无余热场景）：单台处理量 5~50 t/d，烘房运行温度 50~70°C，除水性能比 3.8~4.5 kgH₂O/(kW·h)，每除 1 吨水的碳减排量 0.35~0.45 tCO₂/tH₂O；
- ② 余热直接利用型(>80°C余热场景)：单台处理量 10~200 t/d，烘房运行温度 65~75°C，每除 1 吨水的碳减排量 0.50~0.75 tCO₂/tH₂O；
- ③ 低品位热提质型(<80°C废热场景)：单台处理量 10~250 t/d，烘房运行温度 65~75°C，除水性能比 4.5~5.5 kgH₂O/(kW·h)，每除 1 吨水的碳减排量 0.45~0.65 tCO₂/tH₂O。



四、技术特点及先进性

(1) 能源弹性适配与智能算法调控运行：构建了涵盖空气能、工业余热、低品位废热、太阳能及循环工艺水/气流等的多源互补弹性供能架构，开发出基于多参数实时感知与经济性能优化的智能调控算法，可根据能源禀赋、波动特性与干化需求，动态优化能源组合与运行策略，显著提升系统在不同场景下的能源利用效率、经济与运行稳定性。

(2) 复杂物料特性指纹识别与精准干化：开发出低温干化机组“标准泥”能效测试方法，建立了覆盖多行业的类泥物料特性数据库及

快速指纹识别方法，实现基于物料特征的干化系统核心参数自适应匹配与精细化设计，攻克了高粘、高湿、成分复杂物料的均匀稳定干化难题，大幅提升装备的适用性与处理效果。

(3) 低品位能源提质与跨介质能量流协同：开发低品位余热($30\sim80^{\circ}\text{C}$)的高效提取与品位提升技术，构建跨介质(水-气-热)多流程能量流协同系统，通过智能耦合“工艺冷却-余热回收-干化供热”等多流程，打破能源孤岛，实现能量流动态匹配与全局优化；在高效干化的同时满足原工艺冷却等需求，实现系统综合能效提升与碳减排的双重目标。

五、应用案例

已在 $<80^{\circ}\text{C}$ 废热、 $>80^{\circ}\text{C}$ 余热及无余热等多复杂场景与工况中取得关键技术突破，具备多模式装备选型与集成能力。

项目名称：广东永葆环境科技有限公司铝灰水洗尾渣低品位热提质/多源协同低温干化项目

(1) 项目概况及内容：

该项目位于广东省佛山市三水区永葆环境公司(原名广东兴发环境科技有限公司)内部，铝灰水洗尾渣日处理量 720t/d，湿渣进料含水率为 35%，出料含水率要求 15%，减重比例 29.4%。该项目采用技术内容如下：①将低温干化工艺与水盘管预热/小温差高蒸发低品位热回收/含氢尾气燃烧负压引风热回收储能模块集成耦合，充分激活并利用生产过程中产生的不同废热，结合工艺波动，相互协同补充；以低温干化系统为枢纽，同步对接解决循环水预冷/含氢尾气燃烧积热与干化用热之间的需求，实现生产过程能量流协同优化；②针对铝灰水洗尾渣粘性大、波动大、成型难的问题，结合成型过程力学参数

实时监控，对进料采用两级切条成型优化，成型效果好，干化效率高；③系统通过对温差、流量、风量、热量、冷媒压力等进行在线监控，耦合算法自适应调控，对热源温度和工艺实际需求匹配进行精准调控，大大提升系统运行稳定性和适应性。

（2）减污降碳：

物料干化后，携带氨味大幅减少，有利于后续进一步资源化利用和运输周转。项目基于热能品位解耦和能源联供联用系统设计，突破传统干化能耗瓶颈，充分激活厂区类无效低品位热能，同步承接循环水预冷、含氢尾气燃烧积热与干化用热之间的需求，实现生产过程能量流优化，最终达到节能、碳减排、成本优化三重需求最大化，系统综合除水能效达到 5.5 kg/kWh 。较传统热干化，该项目除低温干化工艺本身产生的降碳量，同时考虑消除原预冷环节碳排量、充分收集氢燃烧热抵消的碳排量、干化后带来高铝料资源回收碳减排量、减水减量后带来运输过程碳减排量，则项目总年降碳量为 51118 吨 CO_2 /年，每除 1 吨水的碳减排量为 0.71 $\text{tCO}_2/\text{tH}_2\text{O}$ 。



六、推广前景

本技术精准契合国家“双碳”战略、能源与绿色制造产业政策，面

向市政污泥、工业固/危废、各类类泥工业物料等的干化与资源化需求，市场空间广阔。预计未来 5 年，该技术装备在国内重点区域市政及工业领域推广率达 30%，实现年产值 5 亿元以上；通过替代传统高能耗干化模式，年碳减排量超 100 万吨，同步大幅削减臭气、粉尘等二次污染物排放，有效支撑区域减污降碳与绿色发展。

七、支撑单位信息

支撑单位名称：广东吉康环境系统科技有限公司

联系人：黄冠英

联系方式：13923135606、4008080920