

附件 1

国家绿色低碳先进技术成果目录

《国家绿色低碳先进技术成果目录》包括以下六个领域的共 85 项技术成果：

1. 水污染治理领域（18 项）

包括城镇生活污水高效处理及资源化、城镇污水处理厂精细化运行、农村生活污水处理、工业废水处理、水环境综合整治等。

2. 大气污染治理领域（15 项）

包括工业烟气除尘脱硫脱硝及多污染物协同控制、重点行业挥发性有机物（VOCs）污染防治及回收、移动源污染控制等。

3. 固体废物处理处置及资源化领域（23 项）

包括有机固体废物、生活垃圾、危险废物、大宗工业固体废物、电子废物的处理处置及资源化等。

4. 土壤和生态修复领域（10 项）

包括污染地块、工矿用地的土壤修复及脆弱环境生态修复等。

5. 环境监测与监控领域（6 项）

包括生态环境质量、污染源和环境应急监测与监控等。

6. 节能减排与低碳领域（13 项）

包括用能设备节能降碳、工艺改造节能减排、余热余压节能低碳、煤炭高效清洁利用等。

一、水污染治理领域（18项）

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
1	城市污水短程反硝化耦合部分厌氧氨氧化深度脱氮技术	城镇污水处理厂新建或升级改造。	通过在生化池投加填料（填充率15%~20%），提高功能菌群的丰度，使系统内厌氧氨氧化菌快速富集并耦合短程反硝化深度脱氮。污泥回流至厌氧池前，生物膜和悬浮污泥的共存系统可强化生长缓慢的功能菌群停留时间，解决厌氧氨氧化菌对外界环境因素敏感和难以持留的问题，并充分利用原水中的有机碳源，减少外加碳源投加。该技术可在常温下大规模原位富集厌氧氨氧化菌，摆脱菌群需要定期接种的限制，自养脱氮效果稳定，并可减少好氧区曝气量，减少剩余污泥产量和二氧化碳等温室气体排放。	已有2项工程应用。如宜兴市屺亭污水处理厂升级改造工程，处理规模为5万m ³ /d。	以宜兴市屺亭污水处理厂为例，与传统硝化/反硝化脱氮工艺相比，该技术可节省约30%曝气能耗，无需外加碳源，仅通过对原水中碳源的有效利用，出水总氮可削减至10mg/L以下；可减少CO ₂ 和N ₂ O等温室气体排放。
2	膜生物反应器—超低压纳滤双膜法污水资源化技术	水污染严重或水环境敏感地区、水资源匮乏地区。	采用膜生物反应器（MBR）与超低压纳滤（DF）膜组合工艺，充分发挥了MBR技术的高效生物处理和DF膜技术选择性分离的特性。MBR系统主要去除污水中的有机物、氮、磷等，膜通量15L/（m ² ·h）~25L/（m ² ·h）；DF膜系统进一步去除溶解性小分子有机物和磷，且适度脱盐，不产生浓盐水，膜通量17L/（m ² ·h）~24L/（m ² ·h）。DF膜产生的浓水部分返回至MBR膜前端，其余浓水经臭氧催化氧化后与DF膜产水混合后排放或回用。该技术具有产水品质高、运行压力低（0.2MPa~0.4MPa）、产水回收率高等特点。	已有4项工程应用。如北京翠湖再生水厂，MBR段处理规模为2万m ³ /d，DF段处理规模为7000m ³ /d。	污水中有机物、磷等物质去除率>90%，DF膜产水可达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类标准；DF膜系统浓水经处理与DF膜产水混合后出水可达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类标准。
3	高效节地型生物膜污水净化技术装备	城镇污水处理厂，尤其是下沉式污水处理厂的新建或升级改造。	生物膜反应器（HBR）采用固定床结构，反应器内填充高填充率（60%~90%）的新型轻质填料，填料比表面积大于1300m ² /m ³ ，孔隙率大于80%，为菌体提供了更多生长空间，提高了填料的纳污能力，有效解决了传统生物膜易堵塞、易板结、能耗高等问题；通过有效的生物调控，使厌氧氨氧化微生物菌群在生物填料上快速富集，可在低C/N条件下提高脱氮效率；以固定床形式进行生物降解和动态过滤，以流化床形式进行反冲洗，具有挂膜快、易脱膜的特点。该技术可有效提高容积负荷，水力停留时间仅为5h~8h，大幅节省占地。	已有16项工程应用。如贵阳市金百污水处理厂一期，处理规模为3万m ³ /d。	与深度处理技术组合后，出水水质可稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准，主要指标可达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）IV类标准。生化处理单元占地可节省30%以上。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
4	高效节能模块装配式污水处理集成系统	中小规模城镇污水处理厂提标扩容改造、工业废水处理、黑臭水体治理、农村生活污水处理。	模块装配式污水处理系统主体设备为多级环状结构，池体内通过钢结构壁板分隔出内圈和外圈两个主体部分。外圈设有曝气组件和推流装置，通过精准曝气调控外圈的厌氧区、缺氧区和好氧区；内圈通过三相分离器将沉淀区和好氧区叠加，形成好氧沉淀区，取代传统的二沉池。在好氧沉淀区中，三相分离器实现气、水、污泥的分离，污水进入深度处理单元；气体由集气罩收集后形成气提，带动混合液回流。系统在稳定运行条件下污泥浓度提高至5.0g/L~10.0g/L，沉淀区表面负荷 $1.5\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})\sim 2.5\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。该技术具有处理效率高、能耗低、占地省、建设周期短等特点。	已有15项工程应用。如肇庆四会市碧海湾装配式污水处理厂项目，处理规模为10000m ³ /d。	可节省20%投资、减少2/3占地、缩短3/4建设周期、降低25%运维成本。以肇庆四会市碧海湾装配式污水处理厂项目为例，出水水质稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级A标准，吨水电耗0.12kW·h~0.14kW·h。
5	全流程节能降耗精准运行控制技术	污水处理厂（站）提标、扩容、增效及低碳运行管理。	开发了高效智能沉砂提砂分砂精准除砂、污泥浓度和时序耦合排泥控制、基于需气量预测的三重控制精准曝气、基于生物/化学耦合的自适应精准除磷、基于污泥物料平衡的实时精准泥龄控制等全流程节能降耗技术，突破了动态过程中的复杂微生物系统精准控制技术工程化应用瓶颈，破解了生化反应和管控环境复杂条件下在线过程稳定控制的难题。初沉池排泥浓度稳定控制在设定值±300mg/L以内，溶解氧控制在设定值±0.2mg/L以内，污泥龄控制在设定值±12%以内。	已有11项工程应用。如高碑店再生水厂，处理规模100万m ³ /d。	实现了污水处理厂运行过程中的智能化精准控制，电耗、药耗和碳排放量降低10%~40%。以高碑店再生水厂提标效果为例，在生化池水力停留时间比常规工艺缩短1/3的条件下，技术改造后生物脱氮除磷效率显著提高，二级出水总氮降低50%以上。
6	膜生物反应器系统高效节能膜擦洗技术与装备	大中型污水处理厂MBR膜组器。	构建了一个通过曝气盒独特设计无运动部件的纯水力学部件，将连续气流转换为脉冲/间歇式气流，当累积到一定气量时，在极短时间内释放，形成高强度的擦洗气流，对膜丝表面剪切冲刷，以维持膜系统的稳定运行通量。该技术具有系统运行稳定、节约能耗等特点。单个曝气盒腔体容积约 $1.7\times 10^{-3}\text{m}^3$ ，擦洗气流为每分钟30~40个气泡。	已有9项工程应用。如北京槐房再生水厂，处理规模60万m ³ /d。	大中型MBR污水处理厂中，膜擦洗气量可节省20%~30%。在同等设备投资情况下，可显著提高系统运行稳定性，减少膜污染清洗频率。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
7	耐污染平板膜生物反应器	分散式污水处理（如村镇、酒店、社区、高速公路服务区、工厂化养殖等）。	利用细菌将银离子还原成直径仅 6nm 的生物纳米银，并均匀分散在铸膜液中制备生物纳米复合膜，赋予膜持久的耐生物污染能力，能在较长时间内抑制细菌在膜表面附着、发展，抑制膜生物污染，解决了传统化学纳米粒子易在膜表面团聚的问题，提高膜表面的亲水性；开发了基于可控活塞流曝气的平板膜组件优化技术，优化膜组件的流态，在控制膜污染的同时降低曝气能耗。膜生物反应器维护方便、运行成本低。以 100m ³ /d 的村镇/市政污水处理工程为例，热带地区、长江中下游地区、黄河及以北地区的膜通量推荐设计值分别为 25L/(m ² ·h)、20L/(m ² ·h)、15 L/(m ² ·h)。	已有 100 多项工程应用。如圣农养鸡场一体化 MBR 污水处理项目，单套设备处理规模 50m ³ /d ~ 200m ³ /d。	膜清洗周期超过 6 个月，出水水质稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 A 标准，与传统生化工艺相比，占地面积减少 50%，排泥量减少 70%。
8	纳米平板陶瓷膜污水处理技术及一体化装备	中小规模工业废水和市政污水处理。	将纳米平板陶瓷膜与生物处理工艺组合，并通过信息化平台实现污水污泥同步处理、同步脱氮除磷和远程智慧化管理。陶瓷膜跨膜压差极限值 ≤ 60kPa，标称孔径 0.1μm，膜寿命超过 15 年，不易破损。该技术具有适用水质条件广泛、处理效率高、自动化程度高、维护方便等特点。	已有 6 项工程应用。如昭平县城北工业园集中式污水处理站，处理规模 500m ³ /d。	出水水质优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 A 标准，可直接作为绿化用水和生态补水，剩余污泥产生量少。
9	用于工业废水深度处理的超滤膜芬顿技术	造纸、纺织、化工等行业工业废水，发酵废水、垃圾渗滤液，以及工业园区废水的深度处理。	采用超滤膜替代传统芬顿工艺的沉淀池作为固液分离单元，固液分离过程不受沉降速度及沉降时间的限制，实现了水力停留时间与污泥停留时间分离。通过膜过滤保证系统高污泥浓度运行，形成特有的运行参数，集成混凝吸附、化学氧化、膜过滤等多种水处理技术，实现污染物 COD、TP、TSS、F 的高效去除。该技术适用的运行参数范围广，膜过滤精度 0.04μm，膜池污泥浓度 4000mg/L ~ 8000mg/L，膜通量通常为 15L/(m ² ·h) ~ 30L/(m ² ·h)。	已有 6 项工程应用。如广州南沙区精细化工废水深度处理示范工程，处理规模为 2000m ³ /d。	与传统芬顿及流化床芬顿工艺相比，占地面积可节省 60% 以上，COD 去除率可提升 20% ~ 30%，芬顿试剂投加量可降低 30% ~ 60%，排泥量可降低 30% ~ 60%，无需投加 PAM。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
10	污水深度处理臭氧催化氧化技术	市政污水处理厂提标改造、工业园区高浓度难降解废水深度处理。	部分废水在高效溶气装置内与臭氧接触混合，出水进入氧化池，在催化剂作用下，有机物被氧化分解或矿化，处理后出水达标排放。通过电磁场切变场作用，提高臭氧溶气效率，采用均相/非均相催化形式，提高氧化反应效率，改善水体溶解氧含量。非均相催化剂比表面积 200m ² /g ~ 1000m ² /g，使用寿命超过 10 年，均相催化通过微电解技术，可在污水中精准投加 μg/L 量级的金属离子。该技术不产生污泥，操作简便。	已有近 80 项工程应用。如无锡市锡山水务有限公司云林厂 6 万 m ³ /d 提标改造工程。	臭氧利用率 ≥ 95%，处理后出水 COD ≤ 50mg/L。与传统技术相比，运行成本可节省 50%，占地面积可节省 50%；尾水中富含溶解氧，可作为河湖补给水源。
11	大型二氧化氯制备系统及纸浆无元素氯漂白技术	制浆造纸行业清洁生产。	研究了不产生固形物的高效稳定综合法和组合还原剂法二氧化氯制备技术与关键装备，有效提高了氯酸钠电解效率，降低了氢气中的氧含量，提高了系统的稳定性，同时降低了二氧化氯溶液的氯气含量，提高了副产品芒硝的利用率，降低了酸用量，避免了固废和废液外排。	已有 40 多项工程应用。如广西贵糖（集团）股份有限公司无元素氯漂白技改工程项目，制备规模为 8t/d。	制备的二氧化氯氯气含量低，纯度达 98.0%。制浆造纸废水处理，AOX 含量可达到《制浆造纸工业水污染物排放标准》（GB3544-2008）要求，较传统工艺的漂白废水 AOX 降低 33% 以上。副产物酸性芒硝转化为中性芒硝回收利用。
12	含重金属废水纳米吸附深度处理技术	含砷、锑、铅、镉、铊等重金属废水的深度处理。	基于离子吸附—化学沉淀的纳米颗粒高效负载技术，利用稀土元素变价特性，研发出具有特殊水合金属氧化物晶体结构的重金属阳离子吸附剂、除砷锑吸附剂和除铊吸附剂三类新型复合纳米吸附剂。基于重金属阳离子吸附剂和除砷锑吸附剂，开发了复合纳米吸附深度处理重金属（铅、镉、砷和锑）技术，基于除铊吸附剂，开发了高级氧化和纳米吸附耦合深度处理工艺。该技术具有吸附容量大、再生率和使用寿命长等特点。除铅、镉、砷和锑工艺过滤速度 8m/h，处理流速 7Bv/h ~ 9Bv/h（除铅、镉），处理流速 11Bv/h ~ 13Bv/h（除砷、锑）；除铊工艺过滤速度 8m/h，处理流速 4Bv/h ~ 6Bv/h。	已有 5 项工程应用。如车河选矿厂选矿废水深度处理工程，处理规模为 1200m ³ /d。	原水中铅、镉、砷、锑、铊等污染物浓度为行业排放标准限值 1~2 倍时，处理后出水铅、镉、砷可稳定达到《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III 类标准值，出水锑 ≤ 0.005mg/L、铊 ≤ 0.002mg/L。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
13	基于有机-无机复合药剂的重金属深度去除技术	含重金属污水(废)水处理。	构建具有多种活性官能团的有机-无机复合药剂(iCOM),可在复杂水质条件下与低浓度重金属离子高效整合,形成“整合-凝胶-混凝沉淀”多过程耦合的重金属深度处理工艺。投加iCOM药剂,将污水中低浓度溶解态重金属高效捕获并快速转变为胶体束缚态,再通过生物絮凝或混凝工艺将其去除。处理过程无需调节废水pH值,无需调整工艺,iCOM复合药剂对活性污泥活性无抑制,可根据实际情况在生化单元前端或后端投加,投加量为重金属污染物浓度的5~10倍。	已有4项工程应用。如东部沿海某城镇污水处理厂出水镍离子达标排放项目,处理规模为15万m ³ /d。	Ni ²⁺ 、Cu ²⁺ 、Co ²⁺ 、Cd ²⁺ 和Pb ²⁺ 等重金属离子浓度在0.2mg/L~2mg/L时,投加iCOM复合药剂后,出水重金属离子浓度可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)中一类污染物及选择性控制项目的标准限值要求。对于高浓度重金属阳离子,增加药剂投量即可保证出水达标。
14	基于离子膜的移动式高盐有机废液处置技术及装置	煤化工、造纸、油田钻采、电镀废水废液处理。	采用两段电驱膜+反渗透膜耦合工艺,对煤化工过程排放的复杂浓盐水进行盐分离。脱盐水满足锅炉补充水水质要求,高浓缩盐水进一步采用盐硝分质结晶工艺实现硫酸钠、氯化钠的分质结晶,脱盐水回用于循环系统补充水。该技术能耗低,可实现盐水高效分离,设备可现场撬装。设备模块化设计参数:废液流量5m ³ /h,脱盐水回收率>85%。	已有8项工程应用。如江苏南通经济开发区二期中水回用工程,处理规模为3.5万m ³ /d。	脱盐水指标达到TDS≤500mg/L,SS≤1mg/L。排放水质可以直接替代工业新鲜用水。
15	高氨氮废水厌氧氨氧化高效低碳脱氮技术	污泥消化液、垃圾渗滤液、养殖废水、餐厨发酵液、半导体废水、煤化工废水、制药废水、食品废水等行业高氨氮废水处理。	基于厌氧氨氧化菌脱氮原理,实现了厌氧氨氧化菌大规模工程化培养,独创厌氧氨氧化(RENOCAR)脱氮技术体系,实现厌氧氨氧化脱氮技术体系的装备成套化,并在不同种类高氨氮废水中应用。针对低C/N废水,开发了包括“调节池、混凝池、斜板沉淀单元、水质精准预调控单元、厌氧氨氧化脱氮单元、平流沉淀池”的工艺路线;针对C/N波动废水,开发了包括“调节池、两级UASB、厌氧氨氧化脱氮单元、生物强化单元和物化精处理单元”的工艺路线。脱氮负荷0.4kg/(m ³ ·d)~0.8kg/(m ³ ·d),为传统脱氮负荷的2~4倍。	已有7项工程应用。如高安屯热解消化液厌氧氨氧化脱氮工程,处理规模为4600m ³ /d。	TN去除率85%~95%,CO ₂ 减排90%,曝气电耗节省60%,不添加碳源药剂,占地面积节省70%。可显著降低水体赤潮、水华、黑臭等发生风险,并提供高品质再生水。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
16	高盐高浓度氨氮废水气态膜法处理技术	高盐、高浓度氨氮废水处理。	基于气态膜法关键技术，开发了活性炭吸附—金属基助凝脱水去除胶体技术、次氯酸钙深度氧化 COD 并协同除氟技术；发明了弱碱条件下金属离子硅基吸附去除材料，形成了与气态膜法匹配的预处理技术。研制了抗污染、再生性能高的膜丝材料及高抗污染性膜组件等，形成适用于高氨氮废水气态膜处理的成套新工艺、新材料、新装置，实现高氨氮复杂废水多污染物的深度去除，氨氮以硫酸铵产品资源化回收。进水氨氮浓度可从 10000mg/L 左右去除至 < 15mg/L，单支膜最大脱氮率可达 1.77%。	已有 22 项工程应用。如宝钢湛江钢铁有限责任公司炼铁厂烧结制酸废水增设膜处理设施项目，处理规模为 192m ³ /d。	可实现 COD、F ⁻ 协同脱除，处理后出水 COD 浓度 < 60mg/L、F ⁻ 浓度 < 10mg/L；pH8~9 条件下，金属离子去除率 > 99%；氨氮去除率 > 99%，硫酸铵回收率 > 99%。出水可用于钢厂钢渣冲洗，产生的废气经收集净化后达标排放。
17	基于污染源解析及点面源治理的小流域综合整治集成技术	城市内河治理。	针对城市小流域污染现状，基于高效精准的小流域污染源解析技术，进行了大数据流域特征分析的流域治理设计，开发了流域水质预警软件，形成了基于河道旁侧处理、合流制溢流处理、污水处理厂高标准排放及流域水质预警的城市小流域综合治理集成技术。采用该集成技术的典型小流域国控考核断面主要污染物氨氮月均值降低了 86.5%，典型小流域治理工程单位建成区面积投资可节省 40% 以上。	已有 6 项工程应用。如合肥市十五里河流域治理工程，治理长度 22km，流域面积 111km ² 。	以合肥市十五里河流域治理工程为例，国控考核断面水质由《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）劣 V 类提升为准 III 类。
18	雨污合流及地表径流水污染处理系统	雨污合流及地表径流水污染处理。	开发了一套雨污合流及地表径流水污染处理系统，包括智能雨水调蓄系统、市政排水管道封堵装置及水环境可视化自动在线监测装备及系统。雨水调蓄系统关键设备包括旋转格栅除污机、智能射流搅拌冲洗器、雨污终端分流自控装置等，实现了对旱流污水、初期雨水与中后期雨水的智能化分类收集、调蓄和处理；市政排水管道封堵装置可针对水下盲区任意水深和任意管径的管道口实施封堵；水质自动在线监测装备以浮标为载体，集成遥测终端、水质监测传感器、太阳能供电系统和锚泊系统等实现连续在线监测，并可预警、触发响应流程。在线监测装备浮力达 100kg 以上，监测水深不超过 50m。	已有 5 项工程应用。如马鞍山中心城区水环境综合治理 PPP 项目，整治河道总长 98km，水域面积 180 万 m ² 。	雨水调蓄技术及装备有效避免了初期雨水直接排放，同时中后期雨水经过调蓄系统在线处理后排放，有效控制了城市排水系统中的径流污染。排水管道封堵装置封堵时泄漏量不大于 1.25L/(min·m)，且操作简便、可靠。智能化在线监测装备及系统可实现自动连续在线监测、预警，全年数据有效接收率 ≥ 95%。

二、大气污染治理领域（15项）

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
19	钢铁行业链篦机一回转窑球团烟气超低排放技术	链篦机一回转窑球团烟气治理。	结合链篦机一回转窑的生产烟气温度特点，设置了三级脱硝系统，其中一级采用非选择性催化还原法（SNCR）脱硝，设计脱硝效率40%~50%；二级采用高温高尘选择性催化还原法（SCR）脱硝，三级采用低温氧化辅助半干法协同脱硝，设计脱硝效率>90%。脱硝烟气经静电除尘后进入末端半干法脱硫+布袋除尘系统，脱硫效率>99%。该技术解决了链篦机一回转窑球团烟气在不设置加热装置和烟气换热器（GGH）情况下实现超低排放的问题。	已有1项工程应用。如迁安市九江线材有限责任公司2套240万t/a链篦机一回转窑烟气脱硫脱硝除尘超低排放总承包项目，每套系统烟气处理量为120万m ³ /h。	以迁安市九江线材有限责任公司超低排放项目为例，净化后烟气SO ₂ 浓度≤20mg/m ³ 、NO _x 浓度≤30mg/m ³ 、颗粒物浓度≤5mg/m ³ 。
20	双级错流活性炭法烟气净化系统及装备	钢铁、焦化等行业烟气多污染物治理。	采用双级活性炭吸附塔串联工艺，吸附塔内活性炭自上而下流动，烟气从垂直活性炭的方向错流穿过活性炭床层实现烟气净化。一级吸附塔用于脱除SO ₂ 、初步脱除二噁英、颗粒物等，二级吸附塔主用于脱除NO _x 、深度脱除二噁英、颗粒物等。采用多级喷氨、分层可控错流高效吸附技术与装备、烟温控制技术实现多污染物高效协同脱除和副产物资源化利用。设计活性炭床层厚度1.6m~2.0m，设计空塔流速0.10m/s~0.15m/s，活性炭再生温度400℃~450℃。	已有16项工程、25台（套）设备应用。如晋南钢铁集团有限公司2×220m ² 烧结烟气活性炭脱硫脱硝工程。	脱硝效率较传统活性炭烟气净化技术提高30%，可达90%以上，出口烟气中颗粒物浓度≤10mg/m ³ ，SO ₂ 浓度≤35mg/m ³ ，氮氧化物浓度≤50mg/m ³ ，二噁英类浓度≤0.1ngTEQ/m ³ 。运行费用较传统烟气净化工艺低30%。
21	臭氧氧化协同液相吸收脱硫脱硝关键技术及装备	烟气温度不超过160℃的低温烟气脱硝，尤其是钢铁烧结、焦化等行业低温烟气脱硫脱硝。	利用臭氧的强氧化性，将烟气中NO氧化为NO ₃ 和N ₂ O ₅ 等易于被吸收的高价态氮氧化物，然后烟气进入吸收塔与吸收液作用实现同步脱硫脱硝，净化后烟气除尘后达标排放。废水进行无害化处理，含硝酸盐组分在高炉中还原为N ₂ 。该技术实现了SO ₂ 、NO _x 等污染物的高效协同脱除，O ₃ /NO摩尔比1.5~2.0。	已有6项工程应用。如燕山钢铁3#300m ² 烧结机臭氧脱硝超低排放改造项目，处理烟气量为198万m ³ /h。	脱硝效率85%~96%，脱硫效率90%~98%，出口NO _x 浓度≤50mg/m ³ ，SO ₂ 浓度≤35mg/m ³ ，O ₃ 浓度≤0.07mg/m ³ 。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
22	烧结机头烟气低温选择性催化还原法脱硝技术	钢铁烧结烟气治理。	通过元素表面修饰和体相掺杂技术调整催化剂的表面酸碱性和氧化还原能力,改进催化剂,开发了烟气低温(<180°C)条件下的 SCR 低温脱硝催化剂。完善了催化剂的成型工艺、开发了低温催化剂保护、热风直接蒸氨技术和装置。同时运用数值模拟技术进行流场模拟,开发了喷氨—脱硝—热解装置,解决了低温含硫条件下 SCR 高效脱硝的难题,同时降低燃料消耗;保证烟气温度场偏差<10°C,速度场偏差<15%, NH ₃ /NO _x 摩尔比绝对偏差<5%。	已有 26 台(套)工程应用。如唐山瑞丰钢铁 3# 烧结机(200m ²)烟气脱硝项目,处理规模为 108 万 m ³ /h。	以唐山瑞丰钢铁 3# 烧结机(200m ²)烟气脱硝项目为例,NO _x 排放浓度<20mg/m ³ ,脱硝效率>90%,氨逃逸浓度<1mg/m ³ ,二噁英排放浓度<0.011ngTEQ/m ³ 。
23	水泥窑烟气中低温选择性催化还原法脱硝技术	建材行业窑炉烟气脱硝。	基于传统钒基脱硝催化剂体系稳定性高的优势,通过稀土耦合、载体改性和活性物种调控技术调整催化剂表面酸碱性和氧化还原性,提高其脱硝活性和抗中毒性;开发蜂窝状中低温脱硝催化剂成型技术,并通过技术集成实现规模化生产。开发在水泥窑余热锅炉出口布置 SCR 反应器的技术路线,可满足催化剂运行需求,不影响余热发电效率和企业生产能耗。催化剂适用烟气温度 180°C~250°C,耐受碱性粉尘浓度 10g/m ³ ~80g/m ³ (O ₂ 含量 10%),NO _x 处理能力 2200mg/m ² 。	已有 8 项工程应用。如山西晋城合聚山水 5000t/d 生产线中低温 SCR 脱硝工程。	脱硝效率≥90%,催化剂化学寿命超过 24000h,机械寿命超过 30000h。
24	工业烟气脱硫除尘深度净化及水回收技术	缺水、常年温度较低地区的燃煤电厂锅炉、钢铁烧结机、水泥窑烟气治理。	利用旋汇耦合—管束式除尘除雾技术(SPC-3D)在脱硫塔内实现烟气脱硫除尘。达到超低排放的饱和净烟气与喷淋的冷却循环水充分接触混合,通过冷却洗涤降温凝结实现的 SO ₂ 、SO ₃ 、烟尘和石膏液滴等的进一步脱除。回收的循环水和烟气冷凝液经加药调节 pH 后,送至空气冷却器冷却至 40°C 后返回冷却凝结塔,回收的凝结水溢流进入回收水罐,用于脱硫系统等。喷淋喷嘴工作压力宜为 0.07MPa,喷嘴出口喷淋浆液滴粒径 0~2000μm。	已有 5 项工程应用。如京能(锡林郭勒)2×660MW 燃煤汽轮发电机组烟气超低排放系统。	以京能(锡林郭勒)发电有限公司 2×660MW 燃煤汽轮发电机组项目为例,出口烟气中 SO ₂ 浓度≤10mg/m ³ ,颗粒物浓度≤5mg/m ³ ,SO ₃ 浓度≤0.08mg/m ³ 。冷凝回收水量 100t/h~120t/h,可满足厂区生产用水补水,电厂实现零补水运行。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
25	水泥炉窑富氧燃烧节能减排技术	水泥生产, 尤其适用于采用低热值燃料、替代燃料的工艺。	利用吸附剂对特定气体的吸附、脱附能力, 吸附空气中的氮气获得富氧空气, 制氧浓度为 60%~95%。结合水泥炉窑煅烧工艺, 通过窑头一次风、送煤风等供氧, 实现富氧煅烧。从燃烧器送入燃料, 使燃料在富氧中充分燃烧, 煅烧火焰温度可提升约 100°C, 提高了燃烧效率。该技术可提高水泥熟料的产量和质量, 降低综合能耗, 并降低空气过剩系数, 减少污染物产生。	已有 5 项工程应用。如白山水泥 4000t/d 熟料生产线富氧燃烧节能减排项目。	以白山水泥富氧燃烧节能减排项目为例, 可燃用 4800kcal/kg 低值煤 (炉窑原煤值要求为 5500kcal/kg); 熟料烧失量由 0.50% 降至 0.18%, 减少煤炭消耗 5kg/t 熟料, 减少 CO ₂ 排放 13kg/t 熟料。
26	基于特种金属膜干法冶炼炉高温荒煤气净化及资源化技术	烟气入口颗粒物浓度 ≤ 150g/m ³ 工况条件下, 黑色冶炼、有色冶炼、化工生产过程中矿热炉及类矿热炉的尾气净化和资源化。	核心滤材采用铁基第五代膜, 利用元素间的偏扩散效应和化学反应成孔, 具有过滤精度高、高温抗氧化、抗热震性好、耐磨损等优势。通过膜分离技术及配套设备实现高温在线反吹、高温多级排灰、防结露糊膜、自动检测控制和安全防爆等功能, 荒煤气在 550°C 下进行有效气固分离后全部回收作为化工原料或发电。该技术解决了易燃易爆、温度波动较大的高温高压含尘腐蚀性烟气过滤及资源化的难题。按 36000kVA 密闭炉设计, 单台除尘装置处理风量 8000m ³ /h ~ 14000m ³ /h, 除尘器工作温度 ≤ 550°C, 高温过滤精度达 0.1μm, 除尘器阻力 < 2kPa。	已销售应用 50 套技术装备。如青海际华江源实业有限公司 50 万 t/a 铬铁合金密闭矿热炉高温煤气净化回收项目。	高温荒煤气经过滤后, 颗粒物浓度 ≤ 10mg/m ³ , CO 气体全部回收利用。以青海际华江源铬铁合金密闭矿热炉项目为例, 实现年减排颗粒物近 1800t, 年回收冶炼煤气折算标煤约 19200t, 年节约电能折算标煤约 2300t, 年减排 CO ₂ 13000t。
27	合成氨液氮洗尾气净化及资源化利用技术	化工、冶金、航天气化炉等行业废气中含化学能低热值气体的净化及资源化。	研制了合成氨液氮洗尾气缺氧高效催化氧化专用催化剂、液氮洗尾气分段催化氧化工艺, 通过精确控制氧气的量, 使前两段在 500°C ~ 600°C 间缺氧氧化, 并转移部分热量, 最后一段轻微富氧氧化净化 CH ₄ 、CO 和 H ₂ , 并将缺氧催化氧化后的热惰性气体用作造气过程中磨煤阶段的煤粉干燥气。该技术克服了一步催化氧化带来的高温问题, 实现液氮洗尾气化学能平稳可控回收及高浓度氮气资源化利用。含化学能尾气热值 500kJ/m ³ ~ 1800kJ/m ³ , 反应温度 400°C ~ 650°C, 催化剂耐短时热冲击温度 750°C, 装置低限运行温度大于 250°C。	已有 2 项工程应用。如云南天安化工有限公司合成氨液氮洗尾气净化及资源化利用工业装置, 处理规模为 30000m ³ /h。	排气出口 CO 浓度 < 120mg/m ³ , H ₂ 浓度 < 20mg/m ³ 。以 30000m ³ /h 尾气净化为例, 年净化液氮洗尾气 2.4 亿 m ³ , 年减排 CO ₂ 1.2 万 t。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
28	火化机烟气多种污染物高效协同脱除超低排放技术与装备	火化机烟气净化。	以窄脉冲放电为核心技术处理火化机烟气，研发了纳秒级高压脉冲等离子电源、反应器和梅花齿一筒式放电极。火化机烟气经传统技术处理后，再进入窄脉冲放电综合一体化装置处理，实现 NO _x 、二噁英、恶臭气体等多种污染物协同脱除和粉尘超低排放。设备纳秒级脉冲高压电源输出功率 90%，上升沿脉宽 <300ns，纳秒级高压重复频率 >300Hz。	已有 1 项工程应用。金华市殡仪馆 4# 炉项目，烟气处理量 6000m ³ /d。	以金华市殡仪馆火化机烟气处理项目为例，颗粒物浓度 < 5mg/m ³ ，去除率 > 89%；二噁英排放浓度 < 0.2ngTEQ/m ³ ，去除率 > 84%；恶臭排放浓度 < 600（无量纲），去除率 > 81%；NO _x 排放浓度 < 100mg/m ³ ，去除率 > 65%；SO ₂ 、HCl 等近零排放。
29	地下污水处理厂恶臭生物治理技术	地下污水处理厂恶臭治理。	研发了新型高效生物填料和降解恶臭的优势复合菌剂，开发了气液传质增溶技术，并引入物联网技术实现智能化管理。废气经预洗池加湿除尘后进入生物滤池，微生物填料层对污染物进行吸附、吸收和降解，分解成无毒无害的简单无机物，净化处理后气体由排气管排出。单套生物处理装备处理量 3000m ³ /h ~ 50000m ³ /h，填料容积负荷 120m ³ /(m ³ ·h) ~ 240 m ³ /(m ³ ·h)，停留时间 15s ~ 30s。	已有 40 项工程应用。如花山净水厂废气生物处理工程，处理规模为 134900m ³ /h。	恶臭排放浓度符合《恶臭污染物排放标准》（GB14554-1993）要求，氨气、硫化氢去除率 > 98%，恶臭去除率 > 85%。
30	低浓度复杂有机废气生物净化过程强化技术	石油、化工、制药、食品、污水处理等行业产生的低浓度 VOCs 及恶臭治理。	研发了真（细）菌协同代谢复合菌剂等生物活性功能材料，研制了两相板式生物净化装置，构建了高能粒子氧化—生物耦合净化工艺，通过“材料—工艺—装备”创新，实现了低浓度复杂有机废气净化。该技术具有操作简单、运行费用低、效率高等特点。净化单元处理负荷提高 2 倍以上，装置体积减小 40% 以上；对正己烷、甲苯等低水溶性 VOCs 的传质单元数提高 60% 以上；二氯甲烷、苯乙烯等难降解 VOCs 去除负荷提高 2 倍左右，去除率从 30% 提升至 95% 以上。	已有 50 多项工程应用。如浙江某大型药企生产车间综合废气和污水站臭气生物净化工程，工程规模 7000m ³ /h。	以浙江某药厂复杂有机废气净化工程为例，采用该技术后尾气中甲苯、四氢呋喃、氯仿的平均去除率分别为 99.5%、95.2%、99.7%。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
31	用于挥发性有机废气高效治理的疏水分子筛吸附剂	喷涂、印刷、化工、玻璃钢、制药、石化、餐饮等行业 VOCs 治理。	开发了多级孔道、不同构型、较高比表面积和较强疏水性的分子筛吸附剂，属于硅铝酸盐类物质，不可燃，安全性高；吸附速率快，选择性高，适用于不同工况和条件，满足 VOCs 超低排放需求。该技术优化了疏水分子筛原粉制备技术，解决了蜂窝成型过程中易开裂、强度低、干燥速度慢、吸附性能变差等问题。该材料动态吸水率小于 3wt.%，苯系物动态吸附容量大于 20kg/m ³ ，比表面积大于 380m ² /g。	已有 3 项工程应用。如天津空客 A320 喷漆车间产生的挥发性有机废气排放治理改造工程，合计处理风量 65 万 m ³ /h。	以天津空客 A320 喷漆车间 VOCs 治理工程改造为例，非甲烷总烃去除效率 ≥ 95%；TRVOC 排放浓度稳定低于 10mg/m ³ ，远低于天津市《工业企业挥发性有机物排放控制标准》（DB12/524-2020）对应排放限值 50mg/m ³ 。
32	减排型药芯复合钎料	航空航天、轨道交通、家电制冷、电力电子、超硬工具、眼镜制造等领域中铜—铜、铝—铝、铜—铝、钢—钢、钢—铜等钎焊连接过程中钎剂排放控制。	借助钎料成分数字化设计平台，针对不同应用需求开发了系列高性能无镉钎料；开发了精密轧制、多级模拉卷制、同步层流挤压成型等技术，制备有缝/无缝药芯钎料；通过在钎剂中复合添加活性元素、改性元素、微纳颗粒等制备活性药芯钎料和高强韧药芯钎料，钎焊过程中发生原位反应和成分重构，实现对钎料成分与性能的精准调控。该技术实现了对有毒元素镉和有害钎剂等的协同控制。卧式液压机最大挤压力 10000KN，挤压速度 0~10mm/s，药芯卷制速度 0~2m/s。	已有 2 项工程应用。如海信容声（扬州）冰箱有限公司冰箱制冷管路绿色高效钎焊技术工程，钎焊冰箱 3000 台/d。	以海信容声（扬州）冰箱有限公司冰箱制冷管路绿色高效钎焊技术工程为例，与传统钎料相比，单焊点钎料金属平均用量由 0.5g/点降至 0.32g/点，钎料金属量减少 36%；单焊点平均钎剂用量由 0.125g/点降至 0.07g/点，减少 44%，符合电子电气设备中限制使用某些有害物质指令（RoHS）的要求。
33	满足国 VI 排放标准的机动车尾气治理催化剂制备技术	满足国 VI 排放标准的天然气车、汽油车、柴油车尾气治理催化剂制备。	采用双溶剂法和贵金属分层配置技术，采用结构和电子助剂优化，运用扩散能垒技术，形成了具有低温高活性、宽空燃比窗口，且高温稳定性好的天然气车尾气治理催化剂制备技术；通过调节贵金属前驱体的物理化学状态、研究贵金属负载过程，形成了高分散性、高活性和高耐久性的汽油车贵金属催化剂制备技术；研究系统中各部分催化剂的自身特性及耦合动态特性，形成了满足国 VI 标准的柴油车后处理集成匹配关键技术。天然气车催化剂 CH ₄ 起燃温度 T50 ≤ 350℃，完全转化温度 T90 ≤ 390℃。涂层上载量控制偏差在 ±3% 以内。	产品装车 10 万辆以上。如匹配了 15 款重型天然气发动机，匹配重型天然气车超过 4000 款，轻型天然气车 39 款。	应用该催化剂的机动车，尾气排放指标可达到国 VI 标准。

三、固体废物处理处置及资源化领域（23 项）

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
34	有机固体废物卧式推流干式厌氧发酵技术及装备	含固率为 20% ~ 35% 的市政、农业、工业有机固体废物厌氧发酵。	针对高含固物料开发了干式厌氧发酵装置，含进料装置、卧式直通式一体化反应器、出料装置、一体化沼气气柜和长轴推流式搅拌器。反应器底部通过 U 形设计和上部矩形设计等结构优化，解决了干式发酵过程反应器物料传质传热不均匀、热交换效率低、物料漂浮结壳和出料困难等问题，降低了物料预处理要求；长轴推流式搅拌器使物料在反应器内混合均匀，无短流现象。该技术对原料适应性强，可连续进出料、自动排砂。单台反应器处理量 > 100t/d（按物料含水率 80% 计），反应器容积可达 3100m ³ 。有机物降解率 50% ~ 75%，容积负荷 4kg·VS/（m ³ ·d）~ 10kg·VS/（m ³ ·d），容积产气率 2m ³ /m ³ ~ 6m ³ /m ³ 。	已有 4 项工程应用。如肥城市畜禽污染治理与综合利用项目，处理规模为 150t/d。	以肥城市畜禽污染治理与综合利用项目为例，运行后每日产沼气 10000m ³ （其中生物天然气 5000m ³ ），沼液 80m ³ ，有机肥 20t，无二次污染。生产的天然气符合《天然气》（GB17820-2018）要求，有机肥符合《有机肥料》（NY525-2021）要求。
35	有机固体废物超高温堆肥技术	污泥、厨余垃圾、畜禽粪污、食品加工行业废弃物、农林废弃物等有机固体废物资源化。	开发了一种含有极端嗜热微生物的超高温好氧发酵菌剂，在不依赖外部加热条件下，通过添加少量辅料调节堆体含水率至 50% ~ 65%，并采取适当曝气，使堆体温度在 48h 内迅速上升至 80°C ~ 100°C 并维持 5d ~ 7d 超高温期，加速有机物降解、堆肥腐熟，大幅缩短发酵周期至 10d ~ 15d，高效杀灭病虫害卵和杂草籽。	已有 20 多项工程应用。如北京顺义超高温好氧发酵污泥综合处置工程，处理规模为 500t/d。	在 80°C ~ 100°C 的持续高温条件下，病原菌、蛔虫卵灭活率 > 99%，有机固体废物可减量 75% 以上，同时实现抗生素耐药性基因消减、重金属钝化和温室气体减排。与传统高温堆肥相比，发酵周期平均缩短约 1/2，辅料添加量减少约 75%，运行成本降低 45% 以上，占地面积仅为传统堆肥的 1/4 ~ 1/2。
36	污泥浆叶式干化和流化床焚烧集成技术	污水处理厂污泥、造纸、印染、皮革等行业产生的污泥）、江河湖泊底泥处理处置。	浆叶式污泥干化机采用装卸式变角度搅拌、固定式叶片送料、热源多点多段供热、干化尾气热能回用等多项技术措施，提高对黏稠污泥的适应性和热能利用效率。流化床污泥焚烧炉利用异比重床料，通过高温空气预热和冷热多级送风，结合半绝热膜式壁锅炉炉墙，以及飞灰分离回送和全顺列、大节距受热面布置，保证炉膛温度分布均匀，提高污泥燃尽率。250m ² 四轴浆叶式污泥干化机水分蒸发能力为 4t/h，蒸发强度 10kg 水/（m ² ·h），锅炉热效率大于 80%。	已有 12 项工程应用。如嘉兴新嘉爱斯热电有限公司污泥干化焚烧工程（二期），污泥处理量为 800t/d。	含水率 85% 的湿污泥干化至含水率 40% 时，体积可减少至原来的 1/4。干化后污泥经焚烧后减量 90% 以上，有机物分解彻底，烟气净化后达标排放，焚烧产生的热能可回收利用，灰渣可综合利用。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
37	新型污泥喷雾干化一回转窑焚烧技术	污泥处理处置。	采用新型喷雾干燥系统与焚烧系统的集成装置，将污泥雾化后，利用焚烧产生高温烟气的热量干化污泥。采用自动化控制技术，根据雾化污泥含水率的不同，将干燥污泥含水率控制在保证干化焚烧系统热能平衡的范围之内，确保焚烧系统产生的高温烟气热量能够干燥雾化污泥，并有效控制二噁英的合成。焚烧尾气采用布袋除尘、臭氧除臭、湿法喷淋、烟气脱白等工艺处理达标后排放。干化塔出泥温度 50℃~60℃，出泥含水率约 20%；进入喷雾干燥塔塔顶的高温烟气温度约 650℃，二燃室高温烟气温度 850℃~900℃。	已有 13 项工程应用。如安吉净源污水处理有限公司污泥综合处置项目，处理规模为 290t/d。	污泥减量率 ≥90%，焚烧炉出口烟气中污染物浓度达到《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB18485-2014）表 4 限值要求，产生的煤渣与灰分可用于建材行业。
38	水泥窑协同处置多源废弃物技术与装备	新型干法水泥窑协同处置城乡一体化生活垃圾、市政污泥、危险废物及一般工业固体废物。	开发阶梯形层状结构预燃炉，通过推料翻动、抛撒两次循环，使料气均衡传热，有害物分解反应更加完全，有效解决了固体、膏体不同相态废弃物的混合焚烧集成化处置的难题，实现废弃物稳定焚烧。预燃炉与水泥窑的分解炉一体化设计，主体焚烧过程在预燃炉内完成，不影响水泥窑的正常运行，焚烧完成后的气体和灰渣再进入水泥窑分解炉，在热态情况下与水泥窑的装置衔接（稳定运转率 ≥90%），从而实现对多源废弃物的高效协同处置。	已在 8 条生产线应用，如武安新峰市政污泥及生活垃圾处置项目，处理规模为 300t/d。	武安新峰协同处置项目年可处置生活垃圾 19.8 万 t，污泥 6 万 t，工业危废 10 万 t，以及其他一般工业固废（钢渣、粉煤灰、炉渣、脱硫石膏、石屑、淤沙等）；燃料替代率 31.5%；废弃物热能回收率 95.5%；节省标煤 5.09 万 t/a；CO ₂ 排放降低 12.7 万 t/a；环保及安全优于国家标准。
39	垃圾填埋场污泥坑塘原位修复及空间利用技术	历史遗留垃圾填埋场存量市政污泥处理处置。	通过向填埋场存量污泥中添加固化药剂，经过水化、矿化、离子交换反应等，在污泥体中快速形成骨架结构，胶结和包裹污泥颗粒，钝化重金属，使污泥转化为类似土壤或胶结强度高的固体，形成固化场地。固化场地可用于封场绿化、构建生态公园、扩容构建垃圾填埋场等。建立了污泥坑塘原位修复技术及土地资源空间利用的全周期稳定性评估系统，保障施工安全和固化场地的长期稳定性。该技术能耗低、施工效率高，单次最大固化深度可达 8m，污泥坑最大固化深度可达 24m；单台设备处理能力 90m ³ /h~110m ³ /h。	已有 7 项工程应用。如苏州七子山垃圾填埋场污泥塘治理修复项目，市政污泥处理规模为 22.8 万 m ³ 。	以苏州七子山垃圾填埋场污泥塘治理修复项目为例，治理后污泥塘 10m 深度范围内抗剪强度可达 80kPa，满足《城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋用泥质》（GB/T 23485-2009）等标准要求；固化场地原位构建填埋场，可增加填埋库容 220 万 m ³ 。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
40	高浓度有机废液高温熔融制合成气技术	精细化工、制药、印染等企业产生的高浓度有机废液处理，混合入炉原料含氯、氟总量 < 6000mg/L。	低浓度有机废液与原料煤经一次湿法共磨制为料浆，高浓度有机废液经密闭输送系统通过气化烧嘴直接气化，料浆、高浓度有机废液与纯氧在高温（1300℃~1400℃）条件下发生高温裂解、气化反应，生成以 CO、H ₂ 为主的高温粗合成气，经还原反应，S 主要转化为 H ₂ S，N 转化为 N ₂ ，原料煤中的灰分及有机废液中的含盐组分在高温条件下转移至液态熔渣。生成的合成气从约 1400℃ 快速激冷至 180℃~250℃，避免生成二噁英等有害物质，渣成为无毒无害玻璃态固态渣。	已有 10 项工程应用。如浙江凤登绿能环保股份有限公司水煤浆高温熔融协同处置有机废物工程，年产 3 万 t 合成氨。	有机质转化率 ≥ 99.99%，CO+H ₂ 体积含量可达 80% 以上。与同规模常规煤气化技术相比，节省原料煤 10%~50%，节省制浆用水 50%~100%，外排残渣热灼减率 < 5%，酸溶失率 ≤ 3%，水浸出有害物质含量、酸浸出有害物质含量符合国家标准，外排水经处理后循环利用。
41	海洋生物贝壳粉涂料	海洋生物贝壳粉制备涂料。	废弃海洋生物贝壳清洗、烘干后，粉碎至细度 20 目~30 目，进入超微细设备精加工，经三级风选，筛选过 1500 目~2000 目的贝壳粉。以筛选出的贝壳粉为原料，利用生物基海藻酸钠、卡拉胶、瓜尔胶为基体，采用生物活化技术制备贝壳粉涂料。贝壳粉涂料含固量 ≥ 50%，pH 值 7.35~7.9，漆膜外观平整光滑。	已有 220 项工程应用。如青岛中德新能源与环保科技研究院室内墙面喷涂项目，喷涂面积为 15 万 m ² 。	液态贝壳粉壁材对金黄色葡萄球菌、大肠埃希氏菌的抗菌性能分别为 99.7% 和 99.3%，达到国家 I 级标准。甲醛净化效率可达 91.5%。
42	生活垃圾焚烧飞灰高温烧结合成建材技术	生活垃圾焚烧飞灰、其他固废焚烧灰渣、污染土壤、污泥高温烧结合成处理。	将飞灰与辅助原料混合，在 1250℃~1300℃ 温度下高温烧结合成，烧结合成过程中基于氯化焙烧原理，飞灰中易挥发重金属以氯化物形式挥发，被捕集浓缩为浓缩灰；飞灰基质经高温烧结合成致密且具有一定强度的稳定烧结合成体，难挥发重金属被固化在烧结合成的致密矿物晶格中，得到重金属总量和浸出量双降低的建材基材产品。二噁英在高温下被彻底分解，且配合急冷降温系统防止再合成，烟气经过半干法脱酸、活性炭吸附和布袋除尘处理后达标排放。该技术具有产品安全性高、飞灰处理成本低、二噁英排放浓度低等特点。	已有 1 项工程应用，天津市固废集中处置与综合利用中心飞灰烧结合成示范生产线，设计处理能力 5 万 t/a。	飞灰基质形成稳定烧结合成体，难挥发重金属被固化在烧结合成的致密矿物晶格中，得到重金属总量和浸出量双降低的建材基材产品，焚烧烟气净化后达到《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484-2020）要求。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
43	高盐有机废水及工业废盐资源化技术	精细化工、煤化工、合成材料等行业生产过程中副产的以氯化钠为主，伴有氯化钾、硫酸钠、苯系物、氯代烃类等物质的固体废物处理利用。	针对单一工业废盐，开发了“负压干燥—多层悬浮氧化炉—高温回转氧化炉”组合处置工艺，物料在多层悬浮氧化炉及回转氧化炉内受热均匀，气体与固体混合均匀，有机物快速分解；针对多种混合工业废盐，开发了“负压干燥—高温液化氧化炉”组合处置工艺，渣盐高温液化，有机物快速氧化分解；高温无害化盐渣经溶解和精制除杂，得到符合质量标准的工业盐产品。高温回转氧化炉工作温度 650°C~800°C，氧化时间约 40min；高温液化氧化炉工作温度 900°C~1100°C，氧化时间约 120min。	已有 5 项工程应用。如易科力(天津)环保科技有限公司 10 万 t/a 烷基化废酸资源化生产硫酸镁项目。	有机物去除率 ≥ 98%。对单一废盐，氯化钠、硫酸镁或硫酸钠资源化产品分别符合《工业盐》(GB/T5462-2015)、《工业硫酸镁》(HG/T2680-2017)、《工业无水硫酸钠》(GB/T 6009-2014)标准要求。对多种混合工业废盐，经处置后可作融雪剂使用，产品符合国家相关标准要求。
44	高浓度含盐有机废液悬浮焚烧及回收技术	化工、炼油、造纸、印染等行业高浓度难降解含盐有机废液处理。	在锅炉绝热燃烧室炉顶装设雾化喷枪，顶喷高浓度含盐有机废液进行焚烧。通过采用 U 型膜式壁结构，解决了高盐废液焚烧难的问题；创新了顶喷废液侧烧辅助燃料的悬浮燃烧技术，实现高盐有机废液的彻底焚毁；采用膜式壁炉墙及挂屏式受热面、遮烟墙等锅炉结构技术，保证焚烧完全及热能回收，设备可长期可靠运行；开发了液态排盐技术，可回收无机盐。设备年运行时间不低于 8000h，燃烧室出口温度 ≥ 1100°C，炉膛内烟气流速 ≤ 4.0m/s，烟气停留时间 ≥ 2s。	已有 20 多项工程应用。如江苏海力化工有限公司已内酰胺高盐有机废液/废气焚烧回收硫酸钠项目，焚烧处理规模 600t/d，其中高盐废液 480t/d。	出口烟气 NO _x 浓度 ≤ 100mg/m ³ ，SO ₂ 浓度 ≤ 50mg/m ³ ，颗粒物浓度 ≤ 20mg/m ³ 。回收的钠盐中 TOC 含量未检出，可直接资源化利用。每小时可回收约 1 t 高纯度硫酸钠，锅炉产生约 35t 2.2MPa 饱和蒸汽。
45	含油污泥热裂解技术及装备	石油勘探、开采、炼制、清罐、储运及含油污水处理过程中产生的含油固体废物处理处置。	在密闭状态下，含油污泥通过进料系统连续送入绝氧(贫氧)常压裂解器内进行热解反应，连续输出的热裂解产物经冷却、分离，得到裂解油、不凝可燃气和固体产物，所得油品可作为生产汽、柴油的原料油，也可作为能源直接燃烧(或发电)。该技术具有处理量大、原料包容性大、热效率高、设备密封性好等特点。单套处理量 30t/d~300t/d；工作时间 ≥ 8000h/a，处理过程中不添加化学药剂。	已有 5 项工程应用。如新疆克拉玛依一期油污泥热裂解处理项目，处理含油污泥 112 万 t/a。	处理后，固体含油率 ≤ 0.05%，VOCs 排放达到相关标准要求，余热利用率 > 90%。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
46	以热脱附为核心的含油污泥资源化及无害化处理技术	油田和石化企业的含油污泥和油基钻屑处理	针对石油石化含油污泥开发热脱附技术，在缺氧条件下使含油污泥中的石油类有机物从固体中脱附出来，然后通过冷凝回收。配套分质分类预处理技术，形成全流程工艺，适应所有状态的含油污泥。可直接处理含液高达 80% 的含油污泥，处理后残渣体积减量 80% 以上，处理后残渣的无害化水平仅次于焚烧，同时实现了油的回收，避免了焚烧需要伴随燃料，以及所产生的烟气和飞灰排放问题，排放量达到最低。	已有 6 个工程项目应用，如长庆油田 6000t/a 污泥处理项目。	油泥中的油回收率可达 75%，残余固体的总石油烃含量稳定控制在 1% 以下，油基钻屑和含油较低的物料，可稳定在 0.3% 以下。以含水 30%、含油 10% 计算，处理每吨含油污泥，相对焚烧法，可减少 CO ₂ 排放 252kg，节约标煤 67kg。同时，热脱附法可以回收含油污泥中的油，每吨污泥回收油量 75kg，折合标煤 107kg。
47	工业废油蒸馏精制高值化利用技术	现存废油回收再生企业的预处理原料及汽车修理点和企业设备更换的废润滑油处理。	开发了模型催化剂配方和短程蒸馏+溶剂/加氢/膜精制工艺，实现工业废油及其渣油的重炼和精制提质；辅以高效加氢和相应的催化改质，实现工业废油无害化及高值化利用。超高真空等极端条件下废油深度脱水除杂的处理能力达 12000L/h；超短程分子蒸馏关键技术的有效分离温度较传统工艺降低了 130°C ~ 220°C，可在 220°C 左右运行；加氢脱硫率、脱氮率达到 95% 以上。	已有 2 项工程应用。如重庆涂维环保科技有限公司万吨级废油资源化利用技术项目，处理规模为 3 万 t/a。	可减少废油炼制的废气、废渣、废水排放，废油炼制基础油收率提高至 85% ~ 90%。处理后油含盐量低于 3mg/L，油含水率低于 300mg/L，外排水含油量不超过 150μg/g。
48	医疗废物高温干热处理技术	医疗废物消毒处理。	医疗废物经碾磨破碎并喷洒灭菌药剂后，进入一体化高温干热灭菌室处理，经热传导系统高效杀灭细菌，处理全过程在负压环境下进行，产生的废气经低温等离子体技术处理后排放。该技术具有自动化程度高、灭菌效率高、占地面积小、低能耗等特点。系统消毒温度 170°C ~ 210°C，消毒时间 20min，消毒时消毒罐内部压力 4200Pa ~ 4600Pa。	已有 5 项工程应用。如黑龙江省哈尔滨市 70t/d 医疗废物处置项目。	颗粒物、VOCs、氯化氢等指标浓度远低于《医疗废物处理处置污染控制标准》（GB 39707-2020）指标限值，消毒效果指示菌种的杀灭对数值 > 6.00，汞及其化合物均未检出，氯气测定值 < 0.03mg/m ³ 。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
49	低阶煤浮选提质技术及设备	除褐煤外的低阶煤的浮选。	对选煤厂小于 0.5mm 的低阶煤泥进行分选，采用界面调控技术、极性复合药剂、活性微泡技术，对低阶煤浮选提质。确定了低阶煤最佳浮选条件和工艺参数，开发了高效机械搅拌式浮选设备，浮选机最大矿浆处理量 2242.23m ³ /h，充气速率 0.81m ³ /(m ² ·min)~1.05m ³ /(m ² ·min)，充气均匀系数 82.64%~86.92%，该设备对矿浆浓度和入料粒度均有较好适应性，可增强煤泥可浮性，且能满足低阶动力煤煤泥浮选提质的技术要求。	已有 6 项工程应用。如山西中煤东坡煤业有限公司朔中选煤厂浮选补套工程，规模为 11Mt/a。	以山西中煤朔中项目为例，入料浓度 20g/L~70g/L、入料平均灰分 26.42%时，浮选后精煤平均灰分 14.16%，尾煤灰分 47.04%，精煤产率 62.64%，可燃体回收率 72.81%。
50	细粒尾矿模袋法堆坝成套技术与应用	细粒尾矿堆坝。	建立了模袋处理细粒尾矿的固砂透水—挤压排水固结—约束成型的强度增长机制，开发了适应不同尾矿特性且经济、高效的自动分级堆坝施工装备，提升了细粒尾矿坝整体稳定性，拓宽了细粒尾矿堆坝粒径适用范围。可采用入库尾矿-200 目颗粒含量 < 90%的尾矿进行上游法堆坝，实现细粒尾矿快速、安全筑坝。模袋自动充灌装备单台筑坝能力达到 1200m ³ /d。	已有 20 多项工程应用。	模袋体内尾砂各物理力学参数较自然沉积滩面尾砂提高 10%以上，模袋坝体整体稳定性安全系数提高 30%以上；充灌模袋的材料全部利用选矿厂排出的尾矿或添加药剂后的全尾矿，且充灌模袋过程中排出的细粒尾矿水经处理后回用。
51	熔融钢渣高效罐式有压热闷处理技术及装备	钢铁厂钢渣处理。	在密闭压力容器内，利用钢渣余热遇水产生的高温高压水蒸气使钢渣中的游离氧化钙快速消解，并使钢渣粉化。包括钢渣辊压破碎和余热有压热闷两个阶段，第一阶段在 30min 内完成熔融钢渣由 1600℃冷却至 600℃以内，粒度破碎至 300mm 以下；第二阶段在 2h~3h 内完成钢渣有压热闷，钢渣中游离 CaO 充分消解至含量小于 3%，浸水膨胀率小于 2%。该技术具有适应性强、周期短、粉化率高、尾渣稳定、能耗低、占地面积小等特点。钢渣尾渣含水率 < 5%，吨钢渣可回收 0.2MPa 以上压力蒸气量不低于 150kg。	已在 60 家钢铁企业的 120 条生产线应用。如首钢京唐 60 万 t/a 钢渣处理生产线。	可最大程度实现钢渣资源化，处理后钢渣 20mm 以下颗粒占比 > 70%；尾渣浸水膨胀率 < 2%；烟气中颗粒物浓度低于 10mg/m ³ 。尾渣符合《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》(GB/T20491-2017)和《道路用钢渣》(GB/T25824-2010)要求。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
52	废旧轮胎（橡胶）智能化裂解与炭黑深加工成套设备	废旧轮胎、高分子固体废物处理及循环利用。	采用低温常压/微负压连续裂解工艺,破碎后的废旧轮胎经裂解生成裂解油、炭黑、钢丝和可燃气,炭黑经磁选、研磨、改性、造粒、包装后获得高品质炭黑产品。裂解工艺采用模块化设计,炭黑输送采用智能化的密闭式气力输送系统,实现高效率、洁净化、智能化生产。技术配套了智能化运行管控系统。连续裂解生产线年处理废旧轮胎能力≥2万t,能耗≤75(kW·h)/t;热解炭黑深加工设备单机年处理能力≥7000t。	已有2项工程应用,如河南伊克斯达废旧橡胶绿色生态循环利用智能化工厂项目,处理规模为10万t/a。	裂解炭黑产品:细粉含量≤10%,加热减量≤2%,炭黑吸油值(DBP)≥60cm ³ /100g,拉伸强度≥18.0MPa。尾气排放达到《石油化学工业污染物排放标准》(GB 31571-2015)、《恶臭污染物排放标准》(GB14554-1993)等要求。与炭黑、油、钢丝的传统生产过程相比,裂解处理1t废轮胎可减少约1.1t二氧化碳排放。
53	利用皮革固体废物生产皮革复鞣剂和填料技术	制革行业皮革固体废物资源化利用。	集成制革灰皮肉渣资源化利用技术、废毛制备蛋白(分子量介于3000Da~5000Da的角蛋白)填料技术、含铬皮革固体废物生产蛋白基填充剂和含铬复鞣剂技术,开发了配套集成设备,将制革生产过程中产生的皮革废碎料加工成胶原蛋白基填料和具有良好复鞣性能的含铬复鞣剂产品,回用于复鞣填充工序。其中含铬皮革革屑通过碱酶法提取胶原蛋白,含铬滤渣通过酸溶解并进一步改性处理后得到含铬复鞣剂。	已有6项工程应用。如河北中皮东明环境科技有限公司利用制革废毛和废渣生产皮革复鞣剂和填料项目,年处理1万t含铬皮革废碎料,0.5万t废毛。	可从含铬皮革固体废物中提取胶原蛋白,降低20%以上生产成本,胶原蛋白中的铬含量和灰分含量降低30%以上,改善了皮革手感和染色性能。制革废毛综合利用率达90%以上,含铬皮革固体废物综合利用率达90%以上。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
54	废旧三元锂电池元素定量补偿异位重构制备三元前驱体技术	废旧三元锂电池及其材料回收与综合利用, 包括 3C 数码电池、动力与储能电池等, 以及废旧三元锂电池材料。	退役三元锂电池经深度物理放电、自动拆解与分离、低温焙烧等预处理得到三元正极粉料, 三元正极粉料再经浆化、还原酸浸、新型萃取剂萃取优先提锂、pH 精确调控沉淀除 Mg、硫化锰除 Zn、氟化物除钙镁等分步净化除杂后得到镍钴锰净化液, 最后采用萃取一反萃、三维立体浆式搅拌 (搅拌频率 40 Hz±10Hz)、非恒定 pH 调控 (pH 控制在 10.9~11.6)、三元定向补偿重构等技术制备三元前驱体材料。该技术具有工艺流程短、金属回收率高、自动化程度高等特点。	已建成年处理 3.4 万 t 废旧三元锂电池、年产 12000t 三元前驱体和 4250t 电池级碳酸锂生产线。	以江西赣锋循环科技有限公司 34000t/a 废旧锂电池综合回收项目为例, 与传统湿法工艺相比, 锂回收率提高 10% 以上, 镍钴锰回收率提高 5% 以上, 硫酸用量减少 35% 以上, SO ₂ 减排 10% 以上。
55	废旧荧光显示器与照明灯具回收拆解及稀土再生技术	废旧荧光器件拆解处理、稀土冶炼及利用。	开发了废旧荧光器件与照明灯具多品类、自动化、全密闭拆解技术及荧光粉回收装备, 废弃荧光粉酸浸—过氧化钠碱溶—酸浸技术, 稀土及有害组分快速分析检测技术; 建立了流水线式稀土荧光粉的分离富集流程, 形成回收、拆解、收集、检测、提取和再生利用的技术体系。含汞荧光粉采用密闭蒸馏法回收汞, 产生的含汞废气采用集中吸附法处理达标后排放。该技术可实现废旧荧光器件高效拆解, 碱熔温度降至 650°C, 碱熔时间 ≤ 30min, 达到高纯度分选及高质量、低成本、低能耗控制。	江西格林循环产业股份有限公司 600 万台废弃荧光器件自动化拆解及废弃荧光灯管和 3300t 荧光粉综合利用项目。	以江西格林循环产业股份有限公司废弃荧光器件自动化拆解及废弃荧光灯管和荧光粉综合利用项目为例, 可对废旧荧光灯进行精确计数与全流程追溯, 设备可实现 24h 连续运行, 废弃荧光灯处理能力 ≥ 1100 万支/a, 汞回收率 ≥ 99%, 荧光粉收集率 ≥ 99%, 稀土综合浸出率 ≥ 99.5%, 烟气中汞含量 ≤ 0.005mg/m ³ 。
56	流态化焚烧炉资源化及无害化处理废旧印刷电路板技术	废旧印刷电路板回收有线金属新线建设或技术改造。	一定粒度的废旧印刷电路板加入被空气剧烈搅动的流态化焚烧炉熔融炉渣的熔池中, 迅速被炉渣湿润并被加热到相同温度, 电路板中的有机物燃烧放出大量的热量, 热量直接给予熔体, 熔体与分散的固体颗粒之间的传热系数大, 加速了炉料熔化和反应过程, 减少了燃料消耗, 提高了热能利用率。铜回收率比传统鼓风机高 3%~5%, 贵金属回收率高 4%~5%。	已在中节能 (汕头) 再生资源技术有限公司 2 万 t/a 废旧印刷电路板处理生产线应用。	利用废旧印刷电路中有有机质实现自热, 化石燃料消耗少。吨粗铜年最大消耗化石燃料煤 0.26 t, 相比传统鼓风机或反射炉处理消耗的燃料煤减少了 0.58 t, 折合年减少标准煤耗 0.41 tce/t 粗铜。以年处理 2 万吨电路板规模计, 年减少 CO ₂ 排放 4076.66 t/a。

四、土壤和生态修复领域（10项）

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
57	有机污染场地原位化学氧化和智能化控制修复技术	含氯代有机物、多环芳烃、石油烃等有机污染场地土壤和地下水原位修复。	利用复合原位化学氧化修复设备，采用搅拌或高压旋喷等方式向土壤和地下水的污染区域添加自主研发的高滞留特性修复药剂，实现有机污染土壤和地下水的高效修复。对修复过程的工艺参数（抽吸/回灌率、压力强度、混噪强度、变量浓度、转化系数等）结合模型优化结果进行智能化、精准动态控制，将土壤和地下水中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。药剂使用量可减少15%，部分含氯有机物降解率可提高20%。	已有25项工程应用。如天津市西青区高泰路土壤修复工程，污染土壤修复量为34964.5m ³ ，地下水修复量为35486.5m ³ 。	相关污染物初始浓度在5mg/kg~5000mg/kg时，去除率为70%~90%。修复后土壤和地下水中有有机污染物浓度达到《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）筛选值、《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III类水质限值或场地修复目标值。
58	复杂污染场地高压旋喷注射—原位化学氧化成套修复技术	低—中渗透性污染土壤（如淤泥质粉质黏土、粉质黏土、粉土、粉—细砂等）地层；苯系物、氯代烃、硝基氯苯、多环芳烃、石油烃类有机污染等场地。	将带有特殊喷嘴的注浆管（钻杆）通过钻孔送至土层预定深度，然后从喷嘴喷出预先配制的复配氧化药剂，注浆管在喷射的同时自下而上旋转提升，高压液流对土体进行切割搅拌，使氧化药剂与污染土壤和地下水充分混合。采用的“二重管法”高压注射工艺具有劈裂和渗透扩散作用，通过药剂在土壤或含水层中的迁移、扩散和反应，将污染物分解为低毒或无毒产物。药剂注射压力20MPa~30MPa，药剂注射流量20L/min~120L/min，空气注射压力0.3MPa~0.8MPa，扩散半径0.8m~3.5m，最大修复深度12m~25m。	已有7项工程应用。如湖北某染料厂生产场地重金属复合污染土壤修复治理工程，土壤修复量为37.02万m ³ 。	以原湖北某染料厂生产场地重金属复合污染土壤修复治理工程为例，主要污染物为氯苯、1,2-二氯苯、苯、四氯化碳、二甲苯、萘、苯并（a）蒽、苯胺，修复前污染物浓度为10mg/kg~1000mg/kg时，修复后均达到修复目标要求，污染物去除率95%~99%。产生的尾气、污水经处理后达标排放。
59	焦化类污染场地土壤风险评估技术	焦化类污染场地土壤风险评估。	建立了精细化风险评估方法、焦化类污染场地“污染物迁移转化—精细化调查评估”核心技术体系、焦化类污染场地精细化监测方法；研发应用基于人体胃肠液的体外模拟和温和化学解吸的生物可给性测定，实测土壤气浓度、土壤VOCs多相分配—传输—反应的耦合模型、建筑物再利用风险评估模型和基于模型参数不确定性的概率风险预测等精细化风险评估方法，解决了传统评估方法导致的过度修复问题。可监测地面以下深达50m的土壤气，实现米级分辨率的样品采集。	已有40多项工程应用。如首钢主厂区，场地面面积约560m ² 。	可将VOCs类污染物的风险评估准确度提升1~2个数量级，将重金属和半挥发性有机物的风险评估准确性提升2~5倍，降低风险1~2个数量级，节约30%以上修复量。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
60	多种重金属污染土壤同步固化—稳定化修复技术	含重金属污染土壤修复。	发现了重金属污染土壤修复常温固相反应规律,提出了重金属污染土壤硅铝基材料同步修复的作用机理,开发了“临界粒径—低碱激发—常温制备”的固废基环境材料绿色制备新技术,并针对重金属阳离子污染、阴离子污染及阴阳离子多重污染场地开发了高性能环境修复材料。首创了特细固废“射流搅拌强化传质”技术和泥浆固液射流搅拌成套装备,修复材料用量可降低30%;开发了重金属离子晶格钝化的常温化学固化技术,土壤压实度达到95%,综合施工成本较传统技术降低30%,实现了重金属污染场地安全利用。	已有60多项工程应用。如武汉CBD原染料厂污染土壤修复治理工程,土壤修复量为38万m ³ 。	固结体中的重金属钝化率达到95%以上,固结体浸出浓度低于《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中IV类水体限值。修复后土壤浸出液中Cr ⁶⁺ 浓度<0.05mg/L,As ³⁺ 浓度<0.1mg/L,Pb ²⁺ 浓度<0.05mg/L,Cd ²⁺ 浓度<0.005mg/L,Hg ²⁺ 浓度<0.001mg/L,修复效果具有长期稳定性。
61	高频声波振动钻进取样装备及技术	污染场地非卵石层取样、岩土工程勘察、浅层矿产勘查。	采用高频动力头提供振动力,将钻具贯入地层,可连续快速钻取地表至特定深度的原状样品;配合使用套管或螺旋中空管钻进,可采集地下水样或建造地下水监测井;配合使用污染物监测仪器和特质电缆,可在线采集不同位置的污染物浓度数据并传输至地面;配合使用注浆泵和注浆管,可将修复药剂注入至目标层位;配合使用脱落锥,可完成物探爆破孔的施工。该技术钻进过程中无需泥浆,可降低样品污染;土壤样品压缩率低、结构扰动小,可精准获取地层信息;高频振动使土层液化,钻进速度快,特别适合砂土地层,也可在干旱无水环境下使用。振动频率50Hz~180Hz。	已有6项工程应用。如山西尾矿库勘察项目,累计完成勘察钻孔20余个,累计进尺600多米,获取原状土样300多组。	钻进过程中不使用泥浆介质,单次取样深度0.5m~2.5m,取样深度>50m,最大取样直径130mm。
62	重金属污染土壤芦竹修复及生态板材制造技术	重金属污染土壤修复。	针对单一或复合重金属镉、汞、铅、砷、铜、锌、镍或铬含量超过《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018)规定风险管控值5~10倍以内的污染土壤,采用生长快、生物量大的芦竹进行植物修复。土壤适宜pH为5.5~8.5,芦竹扦插或移栽种植株距和行距以60cm~80cm为宜,芦竹株高达到3m~4m时刈割并留茬5cm左右。以富集重金属后的芦竹茎秆为原料,切成20mm~40mm的长度,并控制其含水率在2%~4%之间,采用不含甲醛的改性异氰酸酯(MDI)作为胶黏剂,将芦竹秸秆纤维在200℃~250℃范围内加热压成牢固的整体,制成环保人造板。	已有2项工程应用。如万山区敖寨河、下溪河流域汞污染土壤修复与治理示范工程一期。	以贵州铜仁汞矿区重度污染土壤(Hg平均含量21.44±19.94 mg/kg)修复项目为例,种植的芦竹亩产量约4t(干重)/a,植株中Hg含量和积累总量分别为4.46±1.40mg/kg和11.63~18.47g/亩。制成的秸秆人造板中汞含量17.01±0.82mg/kg,符合《室内装饰装修材料木家具中有害物质限量》(GB18584-2001)对可溶性汞≤60mg/kg的限值要求。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
63	黄土高原沟壑防控组合土障技术	坡度较小（低于25°）的黄土高原沟壑区、风蚀水蚀交错区、复合沟壑区、水土流失区固土集水保肥。	采用工程—生物组合沟壑封顶技术、沟壑锁扣技术、沟壑边坡绿化技术、疏导分流功能土障与网格状阻隔功能土障组合技术、季节性洪水集聚利用技术等，短时间内实现疏导、分流、减缓、阻隔、固定、集水及固土，控制风沙危害，防止沟壑区水土流失，治理复合沟壑，生态得到恢复。梯形土障底边长2.8m，高0.5m，三角形排布；圆形土障直径2m，高0.5m。	已有2项工程应用。如甘肃省环县甜水镇国家沙化土地封禁区项目，治理面积为30.9万亩。	在甘肃省环县甜水镇国家沙化土地封禁区应用三年后，流沙完全固定，水土流失完全停止，植物种类增加31种，植被覆盖度由0增加至平均35%，最高覆盖度达60%。地表pH向中性过渡，治理后地表1cm有机质、全氮、全磷、碱解氮及有效磷分别为原沙的4倍、3倍、2倍、2.6倍和2.6倍。
64	新型高聚物生态护坡技术	地质环境脆弱区生态修复，包括地质灾害体、工程建设创面及荒漠化、石漠化等生态修复。	基于生态学、系统学与工程学等理论，开发了生态修复护坡抗冲蚀材料和凹凸缓释肥功能材料，结合松散体斜坡生态修复技术、植物抗逆性研究及根系诱导技术，通过“结构补强—土壤改良—群落构建”协同作用，解决了陡立创面生态修复的冲蚀严重、植被恢复难等问题，实现受损生态系统恢复或重建。生态加固材料表观粘度16MPa·s~17MPa·s，pH7.0~7.5。	已有20多项工程应用。如九寨沟震损区陡立创面项目，修复总面积为62127m ² 。	使用的材料皆为环保材料，新型土壤加固材料在高寒、冻融等恶劣环境条件下仍可保证植被长期稳定存活，选取的植物均为区域内原生物种。修复初期可恢复植被覆盖率至80%以上，后期逐渐实现自维持与长期有效固坡。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
65	砂(砾)质海岸线生态修复工程设计关键技术	砂(砾)质海岸线生态修复。	应用海岸水动力环境高效计算模拟系统全面研究工程区域波浪和潮流特征,为沙滩修复、海湾清淤和生态海堤建设等提供了保障,其中生态海堤使用寿命达到10a以上。应用动床物理模型试验技术、海滩剖面和平演化计算模拟方法系统开展了沙滩演化研究,提出了最优化的沙滩修复工程设计方案,可保证沙滩使用寿命达到5a~10a。上述技术大幅提高了生态修复工程的科学性和实施效率,有效降低了砂(砾)质海岸的侵蚀强度,海域生态环境修复效果显著。	已有3项工程应用。如营口鲅鱼圈珍珠湾生态修复工程,修复自然岸线1.35km。	营口鲅鱼圈月亮湾综合整治与修复工程项目实施后,恢复砂质岸线长度4.5km,滩肩宽度不小于50m,滩肩高程不低于2.5m,海滩稳定性明显增强,区域生态环境得到改善,亲水空间得到拓展。
66	水电工程边坡植生水泥土生境构筑技术	水电、交通、采矿等工程建设产生的坡度不大于60°的土质、岩质、土石混合及人工硬化边坡的生态修复。	通过开展恢复生态系统养分循环利用及基材活性优化研究、植生基材抗冻耐久性改良及智能化灌溉系统研究、植生水泥土专用喷播设备及防飞溅措施研究、生态修复植物物种遴选和植物群落构建及景观营造研究,集成关键创新技术,构筑原始自然生境,促进植物恢复及演替。其中生境基材强度大于0.38MPa,暴雨(80mm/h)条件下侵蚀模数小于100g/(m ² ·h),整体稳定性提高22%以上,根系生长空间增加10%,微生物多样性指数达2.79以上,植被覆盖率达95%以上。配套植被混凝土生态防护技术,可满足所有类型边坡生态恢复。	已有100多项工程应用。如深圳鹏城实验室边坡修复项目,实施总面积约11200m ² 。	植生水泥土孔隙度处于37%~48%良好比例,酶活性提高0.7~2.1倍,有益微生物量提高约5~8倍,速效养分固持能力提高15%~25%,植被覆盖率达95%以上。可有效解决施工扰动带来的植被破坏和水土流失问题,明显改善边坡生态恢复效果,调节局部小气候。

五、环境监测与监控领域（6项）

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
67	水中放射性核素自动在线监测技术	市政供水、饮用水、地表水、核设施流出物等水体中的总放射性和放射性核素的监测。	开发了脱气膜水中 ¹⁴ C气液自动分离技术、水体放射性核素分类自动快速富集制样技术、液闪谱仪探测效率自校准技术、小型可移动液闪谱仪 α 和 β 脉冲甄别技术、总 α 和总 β 放射性直接测量技术等系列关键技术，研制了覆盖一定范围内重要水体放射性核素的在线监测系统，实现对水中总 α 、总 β 、 ³ H、 ⁹⁰ Sr等放射性核素的实时自动监测预警，建立了一体化、自动化、网络化监测模式。该技术解决了背景干扰下水中放射性核素自动在线测量的关键问题，具有高灵敏探测、高效率测量、抗干扰、自动化运行等特点。仪器全程水样回收率 $\geq 70\%$ 。	已有2项工程应用。如甘肃省生态环境监测网络建设项目辐射环境监测网建设—饮用水源辐射环境在线自动监测站项目。	探测效率 $\alpha \geq 90\%$ ， $\beta \geq 85\%$ ， ³ H $\geq 60\%$ ， ⁹⁰ Sr $\geq 78\%$ 。采取全液相手段完成水样的取样、浓缩富集、制样和检测，全流程在封闭管道和容器中完成，不存在二次污染。
68	超低浓度紫外差分烟气分析仪	火电厂等行业固定污染源排放SO ₂ 、NO _x 的监测。	针对固定污染源排放烟气中的超低浓度污染物（SO ₂ 、NO _x 等），通过全程伴热测量技术、高温稳定紫外光源选型、长光程高温紫外吸收池自主设计、微型紫外光谱仪自主设计、多组分气体分析算法等相关技术研发，开发了超低浓度紫外差分烟气分析仪，实现了超低排放烟气中SO ₂ 、NO _x 等指标的便携式仪器监测。核心工艺包括：微型紫外光谱仪装调，长光程高温紫外吸收池装调、全程伴热取样管装调等。SO ₂ 和NO检出限 $\leq 1\text{mg/m}^3$ ，NO ₂ 检出限 $\leq 2\text{mg/m}^3$ 。	LY3023Y（热湿法）紫外烟气分析仪已销售500多台。如河南微米检测科技有限公司应用1台。	可同时测量烟气中超低浓度的SO ₂ 、NO、NO ₂ 等指标，不受水分和粉尘影响；可直接检测NO ₂ ，无需NO ₂ /NO转换器；可扩展检测NH ₃ 、H ₂ S等其他气体。
69	气相分子吸收光谱仪	地表水、地下水、污水和海水中的氨氮、凯氏氮、总氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、硫化物等6项指标检测。	研发了高效连续气液反应分离技术、多通道稳压恒流气源模块、高信噪比光电检测系统、模块化结构设计、蠕动泵驱动模块可靠性设计、高可靠性电控单元一体化设计。研制了气相分子吸收光谱仪，包含一体化进样系统、高精度流量控制系统、闭环式半导体除湿控制系统，实现了氨氮、总氮、硫化物等污染物的快捷检测。该仪器不受水中浊度、色度、干扰金属离子等因素影响，无需复杂前处理，检测效率高。基线波动 $\leq 0.0002\text{Abs}/2\text{min}$ ，测量时长2min~5min，测量精密密度 $\leq 1\%$ 。	已在330多家单位应用。如中国环境监测总站。	针对氮化物、硫化物检测，将传统方法10min/样~30min/样的测定时长缩短至2min/样~5min/样，涵盖检测范围由3个数量级提高至5个数量级。提升了含氮含硫化合物的检测精度和可靠性，气化分离反应残留由3%~5%降低到 $<0.5\%$ ，测量精密密度由原2%提高至优于1%。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	污染治理或环境修复效果
70	基于人工智能的污染源精准识别—溯源分析—预测预报技术	城市污染状况识别、溯源及预测预报。	将视频数据、污染物浓度、气象数据、排放源等多种数据源统一融合，运用人工智能（AI）技术进行污染源精准识别、溯源贡献度分析、污染物浓度预测预报。该技术实现了从底层数据源接入、数据处理、数据融合到特征提取、模型构建的一系列功能，实现对多污染物在未来时期长时间变化的小时级精确预测。	已有 10 项工程应用。如重庆市合川区智慧环保项目。	可及时掌握生态环境违法信息，有效固定证据，实现快速发现、快速响应、应急指挥等执法闭环；实现污染治理的动态调度和实时管控，完成从发现问题到解决问题的闭环管理。
71	工业集中区大气污染物立体监测系统	工业集中区大气污染物的时空分布研究、溯源和精准管控。	应用无人机监测、开放光路监测及走航监测等监测技术，并与工业集中区排污单位污染源自动监测数据及微型空气质量预警监测站点日常监测数据深度融合，形成一套在线、移动、网格化、三维立体空间式的大气污染物监测系统，建立了实时立体监测体系和高分辨动态排放清单。解决了工业园区监测手段少、时效性差和时空分辨率低等问题，可实现对园区污染物排放的跟踪溯源。无人机监测仪可在线检测大气中 H ₂ S、NH ₃ 、TVOCs、O ₃ 、CO、CO ₂ 、NO ₂ 、NO、SO ₂ 、CH ₄ 、PM _{1.0} 、PM _{2.5} 、PM ₁₀ 的浓度，检出限为（g/L 级（CO ₂ 除外，为 mg/L 级）；可检测大气温度湿度、大气压强、风速风向、太阳辐射强度、经纬度和海拔高度等气象与地理信息参数。	已有 5 项工程应用。如杭州湾上虞工业集中区的立体监测项目。	可提高当地生态环境管理部门工作效率，节省人力物力。根据对浙江上虞园区大气污染物排放企业的筛选与调查，筛选出重点排放企业 143 家，形成了基于企业—污染物—技术—减排量的“一企一策”大气污染控制技术工程清单。
72	基于复合光谱的机动车污染排放动态精准监测技术及系统	机动车尾气监测。	提出了基于复合光谱技术的柴油车污染排放动态监测方法，开发了高频调谐半导体激光光谱（ETDLAS）技术，创新设计了互为收发系统的 ETDLAS 和紫外差分吸收光谱（UV-DOAS）双光谱检测单元，研发出成套高适应、宽范围的机动车排放监测装置和仪器设备，实现了机动车尾气多种排放参数的精准监测。废气（CO、CO ₂ 、HC、NO）测量示值误差和重复性误差分别为±5%和 2.5%，不透光度测量示值误差和重复性分别为±5%和 1%；响应时间<0.22s；仪器测量 24h 的漂移量不超过示值误差。	已有 92 项工程应用。如巴彦淖尔市环境信息监控中心机动车遥感监测专用系统设备项目，安装 3 套固定水平机动车尾气遥测系统。	监测的机动车尾气排放参数包括 CO、NO、HC、CO ₂ ，不透光度 5%、林格曼黑度≤0.25 级；在尾气管后置条件下，满足 24h 污染物和黑烟的有效烟团捕获率不低于 90%。

六、节能减排与低碳领域（13项）

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	节能与温室气体减排效果
73	IE4 效率电动机设计技术	可与风机、水泵、压缩机、机床等设备配套使用。与 Y、Y2、Y3、YE2、YX3 和 YE3 等系列电动机产品有良好的互换性。	采用新型绕组、合理选用冷轧硅钢片和永磁材料等技术，效率达到国家二级能效标准，比目前国内常用的 Y 系列电机效率平均提高约 5.4%。其包括 YZTE4 系列（IP55）铸铜转子三相异步电动机（功率范围：0.55 kW ~ 22kW，机座号 80 ~ 180，极数 2 ~ 8）；YE4 系列（IP55）三相异步电动机（功率范围：0.55 kW ~ 1000kW，机座号 80 ~ 450，极数 2 ~ 8）；TYE4 系列（IP55）自启动永磁同步电动机（功率范围：0.55 kW ~ 90kW，机座号 80 ~ 280，极数 2 ~ 8）。	已推广转让 41 家专业制造企业，形成 2000 万 kW 以上生产能力，如南方泵业的端吸离心泵设备。	按产量 2000 万 kW、年运行时间为 5000h 计算，每年可节约用电 66.72 亿度、节约标煤 82 万 t、减少 CO ₂ 排放 380.50 万 t。
74	热泵喷气增焓转子式变频压缩机技术	北方低温寒冷地区住宅和商用建筑采暖。	利用喷气增焓原理，采用特殊的喷气结构，大幅度提高低温工况下的采暖制热量和制热性能，名义制热工况下，能效提升 12.8%，解决低温能力能效衰减的问题；同时排气温度能够下降 15°C ~ 20°C。结合热泵技术，采用变频控制实现快速制热及蓄热运行等功能，实现节能减排。	已有多个示范项目应用，如四川长虹、海尔、福德、格美、高而美、际华等在北京、天津、河北等推广安装 100 余万台。	与燃煤采暖相比，热泵采暖节省煤耗量 832kg/台；CO ₂ 减排 2180kg/台；喷气增焓技术在低温制热工况能效提升 12.8%。节省煤耗量 943kg/台，CO ₂ 减排 2470kg/台。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	节能与温室气体减排效果
75	高效永磁同步变频离心式冰蓄冷双工况机组设计制造技术	制造行业冰蓄冷空调系统主机。	通过研制高效率、高转速、大功率的中高压变频系统，实现大功率高速永磁电机变频调速（全工况运行效率 $\geq 94\%$ ），提升变频双工况机组的单机制冷量。通过“双工况多点气动设计方法”，均衡压缩机制冷和制冰双工况气动设计效率，满足机组制冷和制冰双工况压比高、变化大的要求，提高机组工况适应性，保证机组制冷和制冰工况高能效。对于大冷量机组采用独立双系统串联逆流设计，满足冰蓄冷大冷量和变负荷稳定运行的要求，提升可靠性。	已有 29 项工程应用，如珠海横琴能源发展有限公司 3 号冷站应用，冷量规模 2400RT。	高效永磁同步变频离心式冰蓄冷双工况机组比传统定频离心式冰蓄冷双工况机组节约能耗约 172 万 kW·h，节能 26%。折算节约标准煤 211.39t，减少 CO ₂ 排放 980.92t。
76	旧电机磁化再制造技术	矿山、冶金、机械、石油、化工、建材、陶瓷、纺织设备电机节能改造。	充分利用旧（低效）三相异步电动机机壳、定子、转子等零部件，对电动机转子母体重新加工，将磁钢表贴于转子之上，形成新的电动机永磁转子。通过再制造的永磁电动机，结构简单，使用和维护方便。再制造电机性能指标符合国家相关标准，其电机效率满足《永磁同步电动机能效限定值及能效等级》（GB 30253-2013）能效 1 级要求，功率因数在 0.90~0.98 之间。	已有 8 万多台再制造电机应用。如东鹏陶瓷公司清远基地电机再制造 1884kW。	再制造后电机效率符合国家 1 级能效标准，综合节电率在 10%~30% 之间。获得国家质量认证中心（CQC）节能产品认证。较未进行再制造的电机相比较，再制造后电机每千 kW 全年可节电 68 万 kW·h，全年节约标煤 83.57t，减少 CO ₂ 排放 387.8t。
77	永磁式大功率能源装备多机智能调速节能技术	煤矿、石油石化、电力等行业的电机与工作机之间的智能调速传动系统。	以磁场为介质，通过调节铜导体与永磁体之间的气隙控制电机到负载的转矩转速传递。应用于皮带机、刮板机等恒扭矩式工作机，具有软启动、多机功率平衡功能，电机按需出力，节约电能；应用于风机、水泵类离心式工作机可以根据工况参数需求，改变工作机转速实现目标流量输出，解决“大马拉小车”及机械阀门调节流量等造成的能量损失问题，节能效果显著。该技术传递效率 $\geq 95\%$ ，调速范围 30%~97%，平均节电率 15% 以上。该技术属于纯机械式传动，无谐波干扰，环境适应性强，后期运行维护量小，高效节能。	已有 20 余项工程应用，如湘潭钢铁集团，最大装机功率 800kW。	安装 800kW-750r/min 及 630kW-750r/min 调速型磁力耦合器应用于风机节能调速项目，各电机按需出力，分别实现节电率 30% 及 18%，年节电量 62.4 万 kW·h，折标准煤 76.7t。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	节能与温室气体减排效果
78	绿色节能敞 开式立体卷 铁心干式变 压器设计技 术	电压等级 ~ 6kVA 容量为 35kVA, 额定 ~ 30kVA ~ 12500 kVA 的三相双绕 组立体卷铁 心非包封干 式电力变压 器。	采用立体卷铁心结构, 在平面卷铁心变压器技术基础上, 将铁心的排列方式优化为立体等边三角形结构, 使三相铁心磁路对称, 磁路最短, 磁阻减小, 励磁电流、空载损耗、运行噪声显著降低, 与叠铁心相比空载损耗下降 18%~28%; 立体卷铁心材料利用率高、重量轻, 比叠铁心节约用料 23%, 立体卷铁心填充系数高, 比叠片铁心线圈导线长度减少 2%~3%, 是高效节能节材变压器的核心部件。	已有 12 项工程应用, 如伯恩光学有限公司, 2500kVA×18 台。	性能与国家标准《干式电力变压器技术参数和要求》(GB/T 10228-2015)(空负载允许偏差取 8%)相比, 18 台 2500kVA 容量, 每年可节约电量 78.27 万 kW·h, 按变压器寿命 20 年计算, 总节电量为 1437.98 万 kW·h, 折算节煤 1767.28tce, 减少 CO ₂ 排放 8200.80t。
79	新型大功率 漫光灯	市政路灯、 机场、港口 码头、市政 高杆灯, 隧 道灯, 工矿 灯, 高速路 灯, 体育场 馆专业用灯 等其他大功 率用灯。	通过驱动高端电子镇流器将气体放电发光或固体(半导体)发光的电光源从 50Hz 的 220V 交流电, 稳压到 400V 直流电, 再转换成 350V 高频交流电(固体(半导体)发光的电光源稳压到 400V~450V 直流电), 再经过高频转换变 40KHz~50KHz 的高频电压驱动光源, 克服了现代电子镇流器的技术复杂性, 提升电能转化率; 根据漫反射原理设计制作特殊反光器具, 利用 CFL 及发光二极管光源的发光特性使光线均匀照射在反光材料上, 经二次互叠产生均匀的漫反射, 增强光源发光效率, 照度可提高 50%以上, 并减少眩光。驱动电源工作效率达到 0.97 以上, 功率因数大于 98%, 寿命 100000h, 电子元器件工作时结温低, 产生温度 ≤60℃。	已有 8 项工程示范, 如秦皇岛港口高杆漫光灯 600W×180 盏、240W 漫光路灯 110 盏, 240W 泛光灯 190 盏。	漫光灯替换钠灯和金卤灯可节能 60%以上, 一盏 100W 的漫光灯可以替代 250W 钠灯(金卤灯)。秦皇岛港口使用漫光灯工程, 年节能 337 万 kW·h; 深圳体育中心节能改造项目, 年节能 35 万 kW·h; 苍南 104 国道路灯和隧道改造工程, 年节能 294.34 万 kW·h; 番禺市政路灯使用漫光灯工程, 年节能 106 万 kW·h。三项工程合计年可减少 CO ₂ 排放 2482t。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	节能与温室气体减排效果
80	锅炉燃烧智能监测与控制技术	火电行业一次风粉在线监测、风粉均衡分布精细控制技术改造、深度调峰下锅炉燃烧器燃烧状态精细控制。	采用静电感应技术对一次风粉流动参数进行精确监测，通过新型的风粉调整技术实现风粉均匀分配的在线精细控制，最终对制粉精细调整以及燃烧配风优化，可改善锅炉燃烧工况。系统测量精度可达5%以内，同台磨风粉分布偏差控制在±2m/s以内。基于风粉流速测量数据可进行一次风量和总风量优化，风粉分布均衡基础上可进行二次风精细配风，提高燃烧均衡，从而降低排烟损失，并降低辅机电耗；燃烧均匀后，可消除炉内燃烧恶化区域，减少飞灰含碳量，降低燃烧产生的CO约500mg/L~5000mg/L，达到高效低NO _x 燃烧。	已有近50台燃煤机组应用，如国家能源集团神华九江电厂深度调峰下锅炉燃烧器燃烧状态精细控制项目，机组规模1000MW。	风粉均衡调整和优化可提高锅炉热效率0.5%~1.0%，至少降低煤耗1.5g/kW·h以上，NO _x 排放量减少10%，节省脱硝催化剂成本。
81	工业加热炉炉膛强化辐射传热技术	钢铁冶金、机械制造行业高温加热炉及热处理炉（800℃以上）技术改造。	热辐射体是根据传热学原理，通过增加炉膛有效辐射面积、提高炉膛表面发射率和定向辐射传热功能，达到节约燃气、降低碳排放的效果。平均节能率在8%~10%甚至以上，热辐射体在995℃时有效发射率达到0.95。	已有50多项工程示范，如福建福欣特殊钢有限公司热轧卷板2#加热炉改造。	较未使用该技术的加热炉，以产能160万t/a，吨钢煤气消耗270m ³ 加热炉为例，单位产品燃料消耗降低10%以上，每年可节约标准煤4674tce/a。
82	回转式冶炼废杂铜成套工艺及装备	铜冶炼行业高品位废杂铜的回收利用。	采用高效熔体微搅动技术、侧开门大型回转式炉体新结构（NGL炉）、节能减排新型供热技术、新型双功能炉门、高效净化烟气技术，原料适应范围更宽（入炉品位85%~90%），较传统工艺能耗节省近60%，氮氧化物排放量减少近80%，自动化程度高，实现了废杂铜的高效节能环保冶炼。	已在4家再生铜企业应用，如山东金升有色集团有限公司，全部采用废杂铜为原料，年产阴极铜达20万t。	NGL炉冶炼废杂铜工艺综合能耗小于100kgce/t，与反射炉相比，在处理原料条件相同的情况下，每吨铜可降低综合能耗70kgce/t以上，采用氧气卷吸燃烧方式，热效率高，热量分布均匀，节能减排效果显著，可减少废气量45%、氮氧化物80%、二氧化碳40%。

序号	技术名称	适用范围	技术简要说明	示范应用情况	节能与温室气体减排效果
83	钢铁厂烧结机主烟道内置式余热锅炉	钢铁行业烧结系统余热回收。	通过烧结机主烟道余热锅炉回收烧结生产过程中产生的高温废气的余热。在主烟道中内置相应的锅炉换热面，通过换热面与烟气换热，产生过热蒸汽，提供生产使用，同时达到烟道降温目的。与外置式余热锅炉相比，换热效率更高，蒸汽品质高（2.0MPa、温度 300°C左右），可直接并入烧结余热工程配套汽轮机进行发电。	已有 4 个工程示范项目，如广西柳钢中金不锈钢有限公司镍铁冶炼项目 1#360m ² 烧结系统余热利用工程。	柳钢 1#360m ² 烧结大烟道余热锅炉蒸发量 12t/h，每小时节省标煤约 880kgce。按年运行 7000h 计算，年节约标煤量 6160t，折算发电量 2256 kW·h。
84	低阶煤蓄热式下行床快速热解工艺	煤炭加工、热电联产行业中低阶煤热解提质，热解油气分离净化后生产化工产品，提质煤送至锅炉发电。	采用核心加热元件蓄热式辐射管与下行床相耦合，形成蓄热式下行床快速热解反应器，炉内无转动设备，系统运行可靠；炉内错落布置的辐射管可实现物料的强混合快速传热，在 6s~9s 内实现 6mm 以下中低阶粉煤的快速热解；炉内温度场在 500°C~950°C 范围可灵活调控，油、气品质高，挥发分提取率、能源转化效率及系统热效率高；采用模块化组合工艺，易于工程放大，单台热解炉规模可达 120 万 t/a；针对火力发电，可提高锅炉效率，降低发电煤耗。	已在内蒙古巴林右旗煤炭分质梯级利用 70 万 t/a 乙二醇项目（3×120 万 t/a 煤炭快速热解耦合 4×670t/h 火电）应用。	乙二醇单位产品能耗 1087.76 kgce/t，较行业准入值 1120 kgce/t 而言，可节约标煤 32.24kgce/t，相当于减少 CO ₂ 排放 79.27kg/t。
85	含烃石化尾气的膜法梯级耦合分离和综合利用技术	石化、精细化工、医药等领域的含烃尾气回收和综合利用。	建立连续超薄涂层工艺生产兼具高通量和高选择性的有机气体分离膜和膜组件，苯系物对氮气的选择性>30，渗透速率>3000GPU；开发非理想分离状态模型实现精确过程设计，设计偏差<5.0%；开发梯级耦合流程设计方法将膜分离、吸附、深冷等气体分离技术优化整合，协同强化，实现含烃石化尾气的高收率、高纯度综合回收和减排。综合回收能耗显著降低，回收产品纯度高，操作弹性大，可处理多源、复杂组分废气，实现 95% 以上轻烃和氢气的回收，对需排放的尾气可以满足国家 120mg/m ³ 的排放标准，也可满足更严格的地方标准。	已在百余项工程中应用，如中石油某石化 83000 m ³ /h 富氢气体综合回收项目等。	对典型多源含烃石化尾气，综合回收单耗<0.10 kW·h/m ³ 尾气，与国外专利技术相比，能耗降低约 20%~30%；经过综合回收，每吨尾气折合减排 CO ₂ 当量超过 40kg。