

# 国家重点研发计划“循环经济关键技术与装备”

## 重点专项 2024 年度项目申报指南

(征求意见稿)

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“循环经济关键技术与装备”重点专项（以下简称“重点专项”）。本重点专项总体目标是围绕国家战略需求，聚焦源头减量减害、过程清洁生产、高品质循环利用重大科技问题，攻克一批产品数字化绿色设计、固废源头减量清洁工艺、多源有机固废协同处置、废旧物资智能拆解利用、化学品环境健康风险控制等重大核心共性技术，以及一批关键材料、核心部件/软件、智能装备等，全面提升战略资源循环供给能力，有效支撑产业和区域减污降碳与绿色发展。

2024 年度拟部署 28 个指南方向。其中，围绕循环经济

前沿技术与装备探索，拟部署 6 项青年科学家项目以及 4 项科技型中小企业项目。

## **1. 循环经济基础理论与颠覆性技术**

### **1.1 化工冶金行业存量危废精准溯源与风险管控技术 (共性关键技术类)**

**研究内容：**针对我国化工冶金行业存量危废填埋场、尾矿库和堆存场等设施生态环境风险突出、溯源及管控难等问题，研发固废属性数据提取及可视化图谱构建技术，开发危废特性原位快速检测与生产工艺精准溯源技术及装备，研究渗漏和冲刷淋溶场景下存量危废有害组分释放迁移机制，研究危废多场景环境风险评估与分级管控技术，形成存量设施风险预测预警及应急处置成套技术，开展应用验证，实现多场景存量危废风险管控技术水平显著提升。

**考核指标：**固废属性数据提取技术危废特性识别准确度 $\geq 85\%$ ，可视化图谱涵盖石油与天然气开采、化学品制造、金属采选与冶炼等典型行业，危废类别 $\geq 120$ 种，在不少于 2 个依据《危险废物重大工程建设总体实施方案（2023-2025

年)》建设的危废处置中心示范应用；危废特性原位定量快速检测响应时间 $\leq 10$  秒，检出限达到 ppm 量级（误差 $\leq 5\%$ ），产生工艺溯源准确率 $\geq 90\%$ ；渗漏和冲刷淋溶场景下存量危废有害组分释放迁移模型的预测准确率 $\geq 85\%$ ；建立存量设施管控风险基准，制定低风险危废排除/豁免管理或环境风险分级管控生态环境部行业标准/规范不少于 1 项；存量危废风险预测预警及应急处置平台在不少于 2 个省部级环境管理信息系统中示范应用。

**关键词：**危险废物，环境风险，溯源，存量设施

## **1.2 塑料垃圾海洋泄漏精准监测及阻控清理技术（共性关键技术类）**

**研究内容：**针对塑料垃圾入海途径不清、实地监测精度低和陆海统筹阻控难等问题，研究塑料垃圾陆源空间定位及水环境泄漏过程模拟技术，研发多尺寸塑料垃圾自动采样及入海通量智能监测技术，研发海洋泄漏塑料垃圾多源遥感精准识别技术，研发海洋泄漏塑料垃圾高效打捞与智能分选技术，形成海洋泄漏塑料垃圾陆海统筹精准监测

及阻控清理全链条闭环系统，开展应用验证，实现对陆源塑料垃圾入海的有效阻控。

**考核指标：**塑料垃圾陆源网格空间定位误差 $\leq 500$  m；入海塑料垃圾自动化监测采样尺寸范围 25  $\mu\text{m}$ ~30 cm，相同入海河流采样时间 $\leq 2$  天，入海通量监测准确率 $\geq 90\%$ ；海洋泄漏塑料垃圾识别精度 $\geq 85\%$ ，塑料垃圾种类至少覆盖软质、硬质、泡沫等 3 类，视频探头识别预警周期 $\leq 12$  小时；实现渔网、泡沫、塑料瓶、塑料袋等至少 4 类典型海洋泄漏塑料垃圾的智能分选，准确率 $\geq 95\%$ ；全链条闭环系统服务于省部级生态环境主管部门，在国家划定的海湾基础单元完成应用验证，年处理海洋泄漏塑料垃圾总量达到 2000 吨以上；制定行业技术标准及规范不少于 2 项。

**关键词：**海洋塑料垃圾，遥感，阻控，智能分选

### 1.3 循环经济前沿技术探索（青年科学家项目）

**研究内容：**针对固体废物高质量循环利用关键制约瓶颈，选择材料、生物、化学、信息等多领域新兴技术手段，研究典型无机固废短流程低碳制备再生材料技术，具体为

研发废稀土永磁材料转相再生增值利用技术、研发废铅膏短程制备再生功能材料技术、研发无机固废制备再生材料碳足迹测评技术；研究典型有机固废绿色低碳转化技术，具体为研发难降解碳氟化合物催化降解及高值化利用技术、研发易降解有机固废微生物碳泵合成功能材料技术、研发酿酒废弃物低碳制备生物基塑料技术。

**考核指标：**形成前沿技术 6 项。其中，“典型无机固废短流程低碳制备再生材料技术” 研发任务单个项目应达到以下某一项指标：稀土回收率 $\geq 97.5\%$ ，再生高熵稀土永磁材料矫顽力 $\geq 24$  kOe；废铅膏中铅回收率 $\geq 99\%$ ，铅碳电池能量密度 $\geq 80$  Wh/kg；碳足迹精准核算和分析背景数据库质量等级  $DQR \leq 2$ ，单个产品碳足迹核算分析速度 $\leq 10$  分钟。“典型有机固废绿色低碳转化技术” 研发任务单个项目应达到以下某一项指标：碳氟化合物降解去除率 $\geq 99\%$ ；碳泵合成巯基、醌基等功能分子含量 $\geq 40\%$ ；生物基塑料中酿酒废弃物含量 $\geq 80\%$ 。

**有关说明：**本指南方向支持青年科学家进行前沿技术

探索研究，取得原创性成果，每条研究内容支持项目不超过 1 项，每项申报覆盖 1 条具体研究内容，要求申报项目名称和具体研究内容表述保持一致；其中：典型无机固废短流程低碳制备再生材料技术，拟支持不超过 3 项；典型有机固废绿色低碳转化技术，拟支持不超过 3 项。

**关键词：**无机固废，有机固废，功能材料，循环利用，高值化

#### **1.4 循环经济先进工艺与装备研发（科技型中小企业项目）**

**研究内容：**针对固体废物高质量循环利用先进工艺与装备能力不足，研发高湿金属污泥连续化热处置集成装备，研发高含水有机固废自热多层级发酵装备，研发浓缩垃圾渗滤液多污染物深度净化零排放装备，研发非粮生物质制备钠电负极材料技术及装备，形成智能装备原型样机，开展技术与装备验证。

**考核指标：**建立原创性理论与前沿技术及装备原型 4 项，完成扩大试验验证，产出样品、样机及工业软件等。其中

单个项目应达到以下某一项指标：装备连续化运行通过自热方式可将含水率 60%以上的金属污泥脱水至含水率 $\leq 1\%$ ，单台处理能力达到 24 吨/天；功能性产品有机质含量 $\geq 60\%$ ，每吨有机废弃物温室气体减排量 $\geq 1.2$  吨二氧化碳当量；净化水氨氮含量 $\leq 5$  mg/L，尾气非甲烷总烃浓度 $\leq 10$  mg/m<sup>3</sup>；硬碳材料比容量 $\geq 400$  mAh/g。

**有关说明：**本指南方向支持科技型中小企业进行探索性研究，取得原创性成果，每条研究内容支持项目不超过 1 项，每项申报覆盖 1 条具体研究内容，牵头申报单位应为科技型中小企业，要求申报项目名称和具体研究内容表述保持一致。

**关键词：**固体废物，高效，转化，装备

## **2. 冶金化工清洁生产与固废源头减量（共性关键技术类）**

### **2.1 铅液态熔渣有价金属分离与污染控制技术及其装备**

**研究内容：**针对铅冶炼过程还原炉液态熔渣资源/能源利用率低、重金属迁移扩散难控制等问题，研发液态熔渣连续还原-铅锌铁分离技术，研发连续还原一体化关键装备，

研发还原过程协同处理铅锌固废技术，研究全过程重金属污染防控技术，形成铅冶炼还原炉液态熔渣铁与有色金属分离回收成套技术及关键装备，开展工程示范，实现有色冶炼熔渣铁资源有效回收及钢铁产业链接利用。

**考核指标：**连续还原铅、锌分离回收率 $\geq 97.5\%$ ，铁回收率 $\geq 80\%$ ；一体化还原炉处理能力与 10 万吨级铅冶炼过程相匹配，还原尾渣铅、锌含量分别 $\leq 0.5\%$ 和 $\leq 1.0\%$ ；协同处理过程铂族金属捕集率 $\geq 98\%$ ；净化烟气中二氧化硫排放浓度 $\leq 100 \text{ mg/m}^3$ ，铅及其化合物浓度 $\leq 8 \text{ mg/m}^3$ ；依托 10 万吨/年铅冶炼过程，完成成套技术关键装备工程应用示范，实现稳定运行 3 个月以上，铁回收率 $\geq 80\%$ ，尾渣达到 I 类一般工业固体废物要求，吨粗铅  $\text{CO}_2$  排放 $\leq 500 \text{ kg}$ 。

**有关说明：**由企业牵头申报。

**关键词：**有色冶金，重金属，还原炉渣，污染防治

## 2.2 硅冶炼与加工过程废物源头减量与循环利用技术

**研究内容：**针对硅产业硅酸盐矿物资源利用效率低、加工废料产排量大等问题，研究伟晶岩、黑滑石等硅酸盐

基矿物硅冶金分离与纯化回收技术，研发硅冶金过程镁铝等伴生组分增值回收与废物减量技术，研发硅加工废料/废品深度脱杂与高质循环利用技术，形成难利用硅酸盐矿物硅镁铝多组分清洁提取及硅加工废料/废品短流程高质循环利用成套技术，开展工程示范，解决大量硅酸盐基矿物“有矿难用”和高纯二氧化硅依赖进口的矛盾问题。

**考核指标：**伟晶岩、黑滑石等硅酸盐基矿物中硅回收率 $\geq 90\%$ ，二氧化硅产品纯度 $\geq 99.994\%$ ；硅冶金过程伴生镁铝等资源回收率 $\geq 90\%$ ，产品纯度 $\geq 99.9\%$ ，固废产率 $\leq 10\%$ （按吨矿物原料计）；硅加工过程晶体硅切割硅泥脱杂硅回收率 $\geq 80\%$ ，回收的单质硅纯度 $\geq 99.99\%$ ；废石英坩埚脱杂二氧化硅回收率 $\geq 90\%$ ，13种杂质元素（铝、铁、钙、镁、钛、铜、钴、锰、镍、锂、钠、钾、硼）总和 $\leq 30$  ppmw；新建万吨级硅酸盐基矿物硅镁铝多组分清洁提取示范工程，实现稳定运行3个月以上，硅镁铝资源产品化率 $\geq 90\%$ ，全流程固废产率 $\leq 10\%$ （按吨矿物原料计）；完成万吨级硅废料深度脱杂与高质利用工程应用示范，实现稳定运行3个月以

上，硅回收率 $\geq 80\%$ 。

**关键词：**有色冶金，硅冶炼，废物减量，循环利用

### **3. 工业固废综合利用与协同处置（共性关键技术类）**

#### **3.1 典型失效多金属催化剂金属回收及污染控制技术**

**研究内容：**针对化工行业典型失效多金属催化剂结构组成复杂、有价金属回收率低等问题，研究失效催化剂金属元素迁移转化规律及分离富集机制，研发渣油加氢失效催化剂多金属梯级分离回收与产品高值化技术，研发铂族金属均相催化剂铂族金属冶炼富集回收技术，研发高纯金属镍钒钼钨制备关键技术及装备，研发典型污染物全过程监测与防控技术，形成化工行业渣油加氢催化剂和铂族金属均相催化剂有价金属高效回收成套技术，开展工程示范，实现化工行业失效催化剂的高值化安全利用。

**考核指标：**揭示失效催化剂中钒/镍/钼/铝、铈/钡/铟等金属元素迁移转化规律及分离富集机制，建立来源清单、指纹属性和环境风险数据库 1 套；失效渣油加氢催化剂钼、钒、镍总回收率 $\geq 95\%$ ，偏钒酸铵产品纯度 $\geq 99.5\%$ ，铝回收

率 $\geq 95\%$ ；失效铂族金属均相催化剂金属铑、钯回收率 $\geq 98\%$ ，铈、钕回收率 $\geq 95\%$ ，铑、钯、铈产品纯度达到 99.95%；镍、钒、钼和钨金属的纯度分别达到 6N、3N、4N 和 5N；尾气二噁英排放值低于  $0.1 \text{ ng TEQ/Nm}^3$ ，重金属排放指标达到国家相关标准；完成 2 万吨/年失效渣油加氢催化剂有价金属高效回收工程应用示范，实现稳定运行 3 个月以上，副产铝系净水剂 $\geq 3$  万吨/年，重金属工业废水零排放；完成千吨级/年失效铂族金属均相催化剂回收工程应用示范，实现稳定运行 3 个月以上，年回收均相催化剂铂族金属产品 $\geq 1000 \text{ kg}$ ；制定或修订行业技术标准或规范不少于 2 项。

**关键词：**有色冶金，重金属，失效催化剂，铂族金属

### **3.2 集成电路行业危险废液资源回收与净化技术及装备**

**研究内容：**针对集成电路行业危险废液产生量大、资源化效率低、处理成本高等问题，研究高浓度含氟生产废液强化结晶与物相重构资源回收技术及装备，研究多元重金属生产废水/废液梯级分离与重金属净化技术及装备，研究有机废液生化脱毒协同资源化关键技术及装备，形成集

成电路行业危险废液多污染物协同控制与资源回收利用集成技术，开展工程示范，解决集成电路行业废液资源回收与安全处置的工程技术难题。

**考核指标：**高浓度含氟废液氟回收率 $\geq 90\%$ ，氟化钙、冰晶石等氟资源化产品纯度 $\geq 90\%$ ，一体化脱氟装备推广 2 套以上；多元重金属废水/废液重金属回收率 $\geq 95\%$ ，铜、镍、锡等相关产品分离纯化率 $\geq 98\%$ ，一体化装备推广 2 套以上；高浓度有机废液有机物能源转化率 $\geq 70\%$ ，COD 生化降解率 $\geq 95\%$ ，实现 100%安全处置，一体化装备推广 2 套以上；新建万吨级/年高浓度含氟废液资源回收、重金属废水资源回收、有机废液生化脱毒协同资源化示范工程各 1 项，实现稳定运行 3 个月以上，化学废渣产生量削减 70%以上。

**关键词：**重金属，资源化，氟，有机废液

### 3.3 典型含汞危险废物汞资源回收与安全利用技术

**研究内容：**针对有色冶炼、聚氯乙烯生产等典型冶金化工过程含汞危废环境风险高、汞回收率低等问题，研究冶金化工多相反应过程汞迁移转化规律及含汞危废环境风

险识别技术，研发有色冶炼污酸/酸泥汞选择性分离与金属汞短流程回收技术，研发聚氯乙烯废弃含汞催化剂氯化汞低温分离回收与载体再生制备汞催化剂技术，形成冶金化工行业含汞危废汞资源回收与安全利用成套技术，开展工程示范，支撑我国涉汞行业绿色升级和国际汞公约履约能力提升。

**考核指标：**探明冶金化工多相反应过程汞迁移转化规律，建立有色冶炼和聚氯乙烯生产过程含汞危废来源清单、指纹属性和环境风险数据库 1 套；有色冶炼污酸汞浓度 $\leq 0.01$  mg/L，汞分离率 $\geq 99\%$ ，酸泥中汞分离回收率 $\geq 95\%$ ；聚氯乙烯生产废弃含汞催化剂中氯化汞分离温度 $\leq 320$  °C，回收率 $\geq 99\%$ ，废活性炭再生率 $\geq 90\%$ ；完成万吨级有色冶炼含汞废酸/酸泥回收金属汞应用示范，实现稳定运行 3 个月以上，金属汞纯度 $\geq 99.9\%$ ，残渣循环利用率 100%；完成千吨级聚氯乙烯废弃含汞催化剂氯化汞分离回收与催化剂再生应用示范，实现稳定运行 3 个月以上，催化剂再生率 $\geq 90\%$ ，无害化处置率 $\geq 99\%$ ，废气汞排放浓度 $\leq 0.01$  mg/m<sup>3</sup>。

**关键词：**重金属，含汞危废，资源回收，环境风险

## **4.产品生态设计与绿色供应链构建（共性关键技术类）**

### **4.1 锌冶炼固废循环利用过程在线检测装备与数字调控技术**

**研究内容：**针对锌冶炼固废循环利用过程中多参数同步感知难、在线调控能力不足的问题，开发复杂多金属固废组分、热值同步快速在线检测技术及自动化装备，研发复杂多金属固废循环利用过程交互反应机理的数字化模型，研究机理与多源数据驱动的多目标优化技术，研制锌冶炼固废循环利用过程数字孪生调控软件系统，形成锌冶炼固废循环利用过程多参数同步在线检测与数字化调控成套技术，开展工程示范，实现锌冶炼固废循环利用过程节能降耗和提质增效。

**考核指标：**同步快速在线检测装备实现锌冶炼固废循环利用过程复杂多金属混合物料热值及锌、铅、铁、硅、钙、硫等 6 种以上组分的同步在线检测，检测响应时间 $\leq 30$ 分钟，检测精度 $\geq 90\%$ ；锌冶炼固废循环利用过程数字化模型精度 $\geq 90\%$ ；适用于不同场景和工况的多目标优化算法不

少于 5 类，能够实现金属回收率、焦耗、碳排放等多个指标协同调控；依托 30 万吨/年锌冶炼固废循环过程，完成成套技术工程应用示范，实现稳定运行 3 个月以上，锌回收率  $\geq 93\%$ ，吨金属锌等产品焦耗  $\leq 410$  kg，碳排放量减少  $\geq 12\%$ 。

**关键词：**有色冶金，金属固废，在线检测，智能化

## **5. 废旧物资智能解离与高质循环（共性关键技术类）**

### **5.1 退役飞机起落架及风电机组再制造关键技术及装备**

**研究内容：**针对退役飞机起落架、风电机组等高端装备现有再制造关键部件抗疲劳性能不足等问题，研究再制造关键材料高通量设计技术，研发用于替代退役飞机起落架镀铬层的硬质合金构效调控技术，研发退役风电机组传动部件纳米复合涂层强韧化技术，研发再制造零部件状态多模态软检测技术，形成退役飞机起落架和风电机组再制造关键材料设计、制备及应用评估成套技术，开展工程示范，实现高端装备零部件高值循环再利用。

**考核指标：**硬质合金复合粉末流动时间 20 秒/50 g (GB/T 1482-2010)，纳米复合电刷镀液中纳米颗粒悬浮稳定

时间16天；硬质合金涂层抗拉结合强度 $\geq 75$  MPa，高周疲劳寿命 $\geq 11$ 万次；复合涂层显微硬度 $\geq 900$  HV，接触疲劳寿命 $\geq 10^6$ 周次；再制造零部件状态多模态软检测方法检出率 $\geq 95\%$ ，检测时效 $\leq 5$  ms/mm<sup>2</sup>；新建100件/年退役飞机起落架、100台/年退役风电机组关键传动部件再制造示范工程各1项，再制造产品抗疲劳性能不低于新品要求。

**关键词：**再制造，硬质合金，多模态，疲劳性能

## **5.2 多源树脂废物高效脱毒转化与金属富集分离技术及装备**

**研究内容：**针对电子及环保新兴产业刻蚀、感光和吸附等多源树脂废物处置风险高、产物价值低等问题，研发多源树脂废物增压流态化制合成气协同多金属富集技术，研发合成气高效除杂脱毒与重整制氢技术，研发金、银、钯、铜等多金属强化分离及微量元素吸附回收技术，研究全过程物质能量代谢调控与污染减排集成技术，形成多源树脂废物高效脱毒转化制氢与多金属分离回收成套工艺，开展工程示范，实现新兴产业多源树脂废物安全高值转化。

**考核指标：**树脂废物碳转化率 $\geq 99\%$ ；合成气中氯、溴等有害组分脱除率 $\geq 99\%$ ，合成气与水蒸气转化制氢选择性 $\geq 92\%$ ，树脂废物有机组分制氢转化率达到 50 千克/吨；金、银、钯、铜等高值金属总回收率 $\geq 98\%$ ，处理尾液中稀贵金属排放浓度低于 0.01 mg/L；二噁英排放浓度限值达到 0.3 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>；新建万吨级/年多源树脂废物高效脱毒转化制氢与多金属分离回收示范工程，实现稳定运行 3 个月以上，树脂废物无害化处置率达 100%，烟气中氯化氢排放浓度限值达到 30 mg/Nm<sup>3</sup>；制定或修订行业技术规范 1 项。

**关键词：**热化学，有机树脂，有色冶金，金属再生

### 5.3 可降解废塑料高效生物转化制备高值化学品技术

**研究内容：**针对混杂废塑料中可降解塑料精准分离效率差、高值化利用难等问题，研究融合光谱技术和智能算法的可降解塑料快速识别装备，研究聚乳酸、聚对苯二甲酸-己二酸丁二醇酯等生物解聚酶的机器学习设计创制与高效解聚技术，研发以解聚单体为原料的微生物细胞工厂构建与高值转化技术，研究可降解塑料生物转化过程污染控

制技术，形成可降解塑料高效生物转化成套工艺，开展工程示范，实现混杂废塑料中可降解塑料的高值利用。

**考核指标：**快速识别装备可从混杂塑料（PP、PE、PET、PVC、ABS、PLA、PCL、PHA、PBS、PBAT等10种以上）中识别出易老化可降解塑料5种以上（PLA、PCL、PHA、PBS、PBAT等），识别准确率 $\geq 95\%$ ，响应时间 $\leq 1$ 秒，应用推广不少于2台；可降解塑料酶法解聚时间 $\leq 18$ 小时，解聚率 $\geq 90\%$ ，申请可降解塑料解聚新酶基因登录号3个；解聚单体生物转化制备原儿茶酸、鼠李糖脂等化学品浓度 $\geq 30$  g/L，申请化学品合成人工菌种保藏证明 $\geq 2$ 个；生物转化废水处理出水COD降至 $\leq 100$  mg/L，氨氮 $\leq 10$  mg/L；新建百吨级/年PLA、PBAT生物转化制备高值化学品示范工程，吨处理可降解塑料用酶 $\leq 3$  kg。

**有关说明：**1. 由企业牵头申报。2. PP、PE、PET、PVC、ABS、PLA、PCL、PHA、PBS、PBAT分别指聚丙烯、聚乙烯、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚氯乙烯、聚丙烯腈丁二烯苯乙烯、聚乳酸、聚己内酯、聚羟基脂肪酸酯、聚丁二

酸丁二醇酯、聚对苯二甲酸-己二酸丁二醇酯。

**关键词：**生物转化，酶，智能识别，可降解塑料

#### 5.4 废石墨气热提纯装备与高端利用技术

**研究内容：**针对锂电、半导体等行业产生的废石墨杂质深度脱除与提质利用难题，研究废石墨气热耦合条件下多元杂质的迁移转化规律，研发废石墨气热提纯装备与梯级分离技术，研究高纯石墨改性提质与高端碳基产品可控制备技术，研发废石墨提纯过程污染精准控制技术，形成废石墨气热提纯与高端利用成套技术及装备，开展工程示范，实现废石墨深度提纯与高值再生。

**考核指标：**废石墨（纯度 98%）在 1500°C 下铜、铁、铝、镍、锌等元素及其化合物的脱除率 $\geq 99\%$ ；废石墨气热提纯装备 2850 °C 稳定运行时间 $\geq 240$  小时，废石墨纯度由 98% 提纯至 99.9999%，应用推广不少于 2 套；超高纯石墨粉硼、铝、铁、钒元素总含量 $\leq 50$  ppb，制备的碳化硅粉纯度达到 5N 级；气热提纯过程烟气中氟及其化合物（以 F 计）排放 $\leq 5$  mg/Nm<sup>3</sup>；新建废石墨（纯度 98%）气热提纯制备千吨级

/年 4N 级石墨、百吨级/年 6N 级石墨示范工程各 1 项，实现稳定运行 3 个月以上，吨处理电耗分别 $\leq 0.8$  万 kWh、6.5 万 kWh。

**有关说明：**由企业牵头申报。

**关键词：**热化学，石墨，再生，污染控制

## **6. 化学品环境健康风险控制与绿色替代（共性关键技术类）**

### **6.1 日用化工与印染行业有毒有害新污染物风险削减技术**

**研究内容：**针对日用化工行业双酚类、印染行业含氟类等典型新污染物具有环境持久性和高毒性的问题，研发双酚类及含氟类化合物原位高效减毒催化技术，研发低毒小分子污染物毒性高效削减生化处理技术，研发基于毒性减排的环境健康风险削减评估技术，形成双酚类、含氟类等新污染物高效降解及毒性削减成套工艺，开展工程示范，实现典型新污染物毒害风险高效削减。

**考核指标：**日用化工废水中双酚类化合物低毒小分子

转化率 $\geq 95\%$ ，印染废水中含氟类化合物的脱氟率 $\geq 70\%$ 、去除率 $\geq 90\%$ ；双酚类、含氟类化合物的原位减排率 $\geq 90\%$ 、矿化率 $\geq 80\%$ ；制定基于毒性减排的典型新污染物环境健康风险削减评估技术规范，双酚类、含氟类化合物风险降低 $\geq 80\%$ ；完成万吨级/年双酚类、全氟类污染物毒性减排成套工艺工程应用示范各 1 项，稳定运行 3 个月以上，双酚类排放浓度 $\leq 0.4$  mg/L，含氟化合物浓度 $\leq 16$  mg/L。

**关键词：**新污染物，环境健康风险，双酚类化合物，含氟类化合物，毒害风险削减

## 6.2 精细化工园区无卤阻燃剂暴露识别与风险分级技术

**研究内容：**针对精细化工园区典型无卤阻燃剂污染物排放与健康影响隐患大的问题，研究涂料、染料行业无卤阻燃剂人工智能辅助的非靶向识别技术，研发高风险无卤阻燃剂暴露标志物特异性筛查与精细化表征技术，研发健康风险分布和风险分级边界模拟技术，形成分级分类标签和风险智能分区技术体系，开展应用示范，实现精细化工园区无卤阻燃剂风险精细化管控。

**考核指标：**水、土壤与大气等多环境介质中有机磷阻燃剂等典型无卤阻燃剂识别准确率 $\geq 85\%$ ；表征行业风险特征的暴露标志物 $\geq 5$ 个，行业污染暴露指纹谱准确率 $\geq 90\%$ ；阻燃剂健康风险分级边界涵盖风险 $\geq 95\%$ ，风险半径预测误差 $\leq 1$  km；在涂料、染料行业精细化工园区完成应用示范各1项，实现典型无卤阻燃剂风险分级结果交叉验证准确率 $\geq 80\%$ 。

**关键词：**新污染物，环境健康风险，无卤阻燃剂，暴露标志物，风险分级

### 6.3 电子行业芯片与液晶化学品全过程风险防控技术

**研究内容：**针对电子行业有机金属化合物、液晶单体环境健康风险大，防控体系不健全的问题，研发芯片与液晶电子化学品优先控制新污染物筛查技术，研发芯片生产过程化合物释放预测与优化控制技术，研发废液晶真空裂解回收利用与污染控制技术，形成芯片与液晶化学品全过程风险防控系统性解决方案，依托电子产业园区开展工程示范，实现芯片生产与液晶回收过程电子化学品全过程风

险防控。

**考核指标：**电子行业化学品基础信息数据库化学品数量 $\geq 1$  万条，芯片与液晶电子化学品优先控制新污染物清单环境风险占总体风险 $\geq 60\%$ ；芯片生产过程有机金属化合物环境释放预测准确率 $\geq 80\%$ ，释放总量降低 $\geq 20\%$ ；液晶回收利用过程回收物中高值产品含量 $\geq 12\%$ ，液晶单体裂解率 $\geq 85\%$ ；提出的系统性解决方案得到示范所在地地市级及以上管理部门认可，完成芯片生产与液晶回收全过程风险防控平台的工程应用示范各 1 项，实现稳定运行 3 个月以上，环境风险预警率 $\geq 80\%$ ，高风险新污染物整体环境风险降低 $\geq 30\%$ 。

**关键词：**新污染物，环境健康风险，电子行业，芯片与液晶，全过程风险

#### 6.4 中链氯化石蜡暴露风险控制与绿色替代技术

**研究内容：**针对中链氯化石蜡毒害风险高、面临国际公约管控等问题，研发含氯化石蜡产品及环境介质中中链氯化石蜡精准检测技术，研究室内空气空气中中链氯化石蜡高

效吸附脱除技术，研发氯化石蜡绿色替代产品的成分设计与复配调控技术，开展工程示范，实现中链氯化石蜡的精准检测与绿色替代。

**考核指标：**氘代中链氯化石蜡混合体标准品覆盖  $C_{14-17}$  不同氯取代度同族体，纯度 $\geq 99.5\%$ ，含氯化石蜡产品和环境介质中中链氯化石蜡检测定量偏差 $\leq 10\%$ ；吸附剂对中链氯化石蜡的气相吸附容量 $\geq 20$  mg/g，人居密闭环境中中链氯化石蜡普通人群非食源平均暴露量 $\leq 10$  ng/(kg·d)；完成年产量 $\geq 100$  吨无氯化石蜡镍基合金紧固件成型油生产工程验证，实现稳定运行 3 个月以上，紧固件成型油最大无卡咬负荷 $\geq 1050$  N、铜片腐蚀性 $\leq 2$  级；新建年产量 $\geq 100$  吨无氯化石蜡聚氨酯防水涂料示范工程，实现稳定运行 3 个月以上，防水涂料拉伸强度 $\geq 2.5$  MPa、撕裂强度 $\geq 20$  N/mm。

**关键词：**新污染物，环境健康风险，中链氯化石蜡，绿色替代

## 7. 城乡垃圾和医疗废物分类利用（共性关键技术类）

### 7.1 湿垃圾磷资源转化回收及污染削减技术

**研究内容：**针对湿垃圾中磷资源利用率低、污染风险高等问题，研究湿垃圾中磷赋存形态及转化规律与影响因素，开发多形态磷捕集材料及跨介质回收技术，研究湿垃圾中不同形态磷的生物定向转化菌剂与调控技术，研发资源化产物磷污染阻控技术，开展工程示范，实现湿垃圾中磷资源高效回收及污染削减。

**考核指标：**明确植酸磷、钙镁磷酸盐、铁铝磷酸盐、吸附态磷等 4 种以上不同形态磷的转化途径，转化模型预测准确率 $\geq 90\%$ ；难降解组分制备磷捕集材料产率 $\geq 30\%$ ，磷吸附容量 $\geq 4.0$  mg/g；易利用磷生物转化产率 $\geq 50\%$ ；资源化产物应用过程岩溶性土壤总磷淋溶量 $\leq 10$  mg/kg；新建 30 万吨级/年湿垃圾碳氮磷协同增效与定向转化示范工程，实现稳定运行 3 个月以上，磷资源总回收率 $\geq 50\%$ 。

**关键词：**湿垃圾，定向转化，磷回收，污染控制

## 7.2 生活垃圾焚烧设施碳污协同智能控制技术及装备

**研究内容：**针对生活垃圾焚烧设施来料复杂、碳污协同控制难等问题，研究多元生活垃圾特征污染物快速非接

触式感知装备，开发适应高温条件的焚烧设施关键参数智能感知和诊断技术，研发多介质碳污减排协同控制技术，研发机理与数据双驱动的焚烧系统多目标优化控制技术，开展工程示范，实现生活垃圾焚烧过程减污降碳协同增效。

**考核指标：**多元生活垃圾特征污染物快速识别准确率 $\geq 90\%$ ，检测时间 $\leq 1$ 分钟/次，感知装备应用推广 2 套以上；主蒸汽流量波动 $\leq 8\%$ ，炉渣热灼减率 $\leq 4\%$ ；污染控制与净化系统碳排放当量 400 kg CO<sub>2</sub> 当量/吨；多目标优化新增烟气 N<sub>2</sub>O 浓度、温室气体直接排放和避免排放等 3 项控制指标，发电效率 $\geq 27\%$ ；完成千吨级/天垃圾焚烧工程应用示范，焚烧厂正常投用率 $\geq 95\%$ 。

**有关说明：**由企业牵头申报。

**关键词：**生活垃圾，焚烧，碳污协同，智能控制

### 7.3 乡镇分散式有机固废多途径低碳处理技术与装备

**研究内容：**针对乡镇有机固废小型分散化处理装备效率低、稳定性和经济性差及二次污染重等问题，研究湿垃圾、秸秆、污泥等有机固废小型化干式协同厌氧发酵集成

装备，研究生活垃圾、农业废弃物等有机固废小型化高效热解提质技术与装备，研究生活垃圾、工业垃圾等固废小型化高兼容稳定气化-焚烧技术与装备，研究处理产物资源化与污染控制集成技术，形成乡镇分散式有机固废多途径、强适应、低碳处理小型化成套技术与装备，开展工程示范，提升乡镇有机固废小型化装备能力。

**考核指标：**厌氧消化含固率 $\geq 20\%$ ，有机质转化率 $\geq 70\%$ ；热解原料能量回收率 $\geq 80\%$ ；气化-焚烧排放烟气 CO 波动幅度 $\leq 50 \text{ mg/Nm}^3$ ；厌氧消化/热解固体产物按《固体废物鉴别标准 通则》（GB 34330-2017）应判定为不作为固废管理，烟气中酸性气体氯化氢、二噁英的排放浓度分别低于  $15 \text{ mg/Nm}^3$  和  $0.1 \text{ ng TEQ/Nm}^3$ 。新建 30 吨/天有机固废干式协同厌氧发酵、50 吨/天有机固废高效热解资源化、50 吨/天有机固废高兼容稳定气化-焚烧示范工程各 1 项，实现稳定运行 3 个月以上。

**关键词：**乡镇有机固废，小型分散，资源化，污染控制

#### 7.4 城市生活垃圾定向调控制备车用燃料技术及装备

**研究内容：**针对城市生活垃圾组分复杂、资源化利用价值低等问题，研究低温脱氧制备生物碳粉技术与装备，研究生物碳粉低能耗气化制备合成气技术，研究合成气制备车用燃料氢及含氢高值燃料技术，研究全过程机器学习模拟与智慧化运营调控技术，形成城市生活垃圾定向调控制备车用燃料成套技术，开展工程示范，实现城市生活垃圾高值化规模化利用。

**考核指标：**生活垃圾低温脱氧装备处理能力 $\geq 200$  吨/天，生物碳粉能量回收率 $\geq 90\%$ ，应用推广不少于 2 套；生物碳粉合成气产量 $\geq 600$   $\text{Nm}^3$ /吨垃圾；单位标方氢气（纯度 $\geq 99.97\%$ ）生产电耗 $\leq 0.4$  kWh，车用燃料氢品质达到《质子交换膜燃料电池汽车用燃料氢气》（GB/T 37244-2018）标准要求；工况参数预测调控时间 $\leq 10$  秒，全过程自动化系统投用率 $\geq 95\%$ ；新建 15 万吨/年垃圾热转化制备车用燃料氢示范工程 1 项，形成车用燃料氢制备能力 $\geq 7000$  万  $\text{Nm}^3$ /年，实现稳定运行 3 个月以上。

**关键词：**生活垃圾，资源化利用，热化学，车用燃料，集约化园区

## **8. 重点区域循环经济系统集成及示范（集成示范类）**

### **8.1 黄河流域煤基固废规模化利用环境风险防控技术及集成示范**

**研究内容：**针对黄河流域“几字弯”地区煤矸石、粉煤灰典型煤基固废规模化利用环境风险不明等问题，研发煤基固废多场景回填利用状态生态环境风险模拟与评估模型，研发煤基固废源头污染控制与回填利用过程污染阻隔技术，研发微生物-植物协同活化煤矸石制备生态修复材料及应用技术，研究煤基固废“分级分质-过程调控-污染控制”一体的生态化利用系统性解决方案，开展集成示范，支撑黄河“几字弯”煤电产业集聚区煤基固废大规模利用与区域生态恢复。

**考核指标：**建立煤矸石、粉煤灰回填利用环境风险评估方法 1 套，制定行业、地方污染控制技术规范各 1 项；重金属稳定剂或重金属捕捉多孔陶瓷材料砷汞等重金属捕集

效率 $\geq 90\%$ ，防渗阻燃材料渗透系数 $\leq 1.0 \times 10^{-7}$  cm/s，堆体内氧含量 $\leq 3\%$ ；矿山生态修复材料中固废掺量 $\geq 80\%$ ，土壤质地由砂土提升至沙壤土及以上，田间持水量 $\geq 20\%$ ；依托黄河“几字弯”地区煤电产业集聚区完成集成示范，集中新建黄河流域废弃矿坑等多场景煤基固废回填利用、煤矸石基生态修复材料示范工程各 1 项，实现年新增消纳煤基固废 100 万吨以上；提出的煤基固废“分级分质-过程调控-污染控制”一体化生态化利用系统性解决方案得到示范所在地地市级及以上政府主管部门认可，并形成可复制的商业化推广模式，带动年新增消纳区域煤基固废量达到 1000 万吨以上。

**有关说明：**本指南应充分结合集成示范所在地地市级及以上政府部门在循环经济高质量发展等方面的有关部署，承诺配套经费和相关保障措施，出具书面支持文件，产学研联合申报。

**关键词：**煤基固废，规模化利用，环境风险评估，污染防控

## 8.2 粤港澳产城融合多源固废协同利用技术及集成示范

**研究内容：**针对粤港澳大湾区产城融合多源固废产生量大、利用价值低、环境风险高等问题，研发湾区跨境生活源固废快速识别及便携式设备，研发多源固废智能配伍与协同掺烧技术，研究铝材加工产业危废高效脱毒与高值利用技术，研发新兴产业特征固废原位净化回用与有价值组分清洁提取技术，形成粤港澳产城融合多源固废协同利用系统性解决方案，开展集成示范，实现多粤港澳大湾区多源固废高质量处置与循环利用。

**考核指标：**检测分析便携式设备识别时间 $\leq 5$ 分钟，资源环境关键特性识别准确率 $\geq 80\%$ ；协同掺烧可消纳生活垃圾、市政污泥、装修垃圾等 10 类以上多源固废；铝灰中氧化铝回收率 $\geq 90\%$ 、纯度 $\geq 99.5\%$ ；表面处理废液中氮的提取率 $\geq 80\%$ ；依托粤港澳大湾区开展集成示范，完成 30 万吨级/年多源固废协同处置、万吨级/年铝灰渣高值利用、万吨级/年阳极氧化废磷酸等表面处理废液回收利用工程应用示范各 1 项，实现稳定运行 3 个月以上；提出的粤港澳产城融合

多源固废协同利用系统性解决方案得到所在地地市级及以上政府主管部门认可，在省级固体废物环境监管信息平台上构建多源固废智能管控模块，覆盖包括生活垃圾、工业固废、危险废物、建筑垃圾等 100 种以上典型固废（按照《固体废物分类与代码目录》确定）；制定行业标准不少于 1 项。

**有关说明：**本指南应充分结合集成示范所在地地市级及以上政府部门在循环经济高质量发展等方面的有关部署，承诺配套经费和相关保障措施，出具书面支持文件，产学研联合申报。

**关键词：**多源废物，无废湾区，循环利用，区域协同

### 8.3 钒钛新能源无废产业链构建技术与集成示范

**研究内容：**针对钒钛新能源产业链固废产生量大、碳排放量高的问题，研究钒钛氢基竖炉还原-电炉熔分技术与装备，研究高钛渣高效提钛与资源化利用技术，研究储能用 3.5 价高纯钒短程制备-电解液直配技术，研究钢铁-钒钛-氢能跨产业循环链接与物质能量数字管控技术，形成钒钛

新能源无废产业链构建及系统性解决方案，开展集成示范，实现特色钒钛资源高质低碳循环利用。

**考核指标：**钒回收率 $\geq 85\%$ ，钛回收率 $\geq 90\%$ ，竖炉氢还原过程铁金属化率 $\geq 90\%$ ；钒钛炉渣中  $\text{TiO}_2$  含量 $\geq 75\%$ ，100%资源化利用；短流程还原获得 3.5 价高纯氧化钒中  $\text{V}^{3+}:\text{V}^{4+}=1\pm 0.10$ ，建成 MW 级全钒液流电池模块生产线；数字管控技术工艺过程覆盖率 $\geq 90\%$ ，产品关键工序数控化率 $\geq 95\%$ ；依托国家碳达峰试点城市所在地区的国家钒钛产业基地，完成 50 万吨/年竖炉氢还原工程应用示范，新建 5000  $\text{m}^3$ /年钒电解液生产线，实现经济稳定运行 3 个月以上，固废源头减量 $\geq 70\%$ 、资源化利用率 100%，吨铁  $\text{CO}_2$  排放 $\leq 0.6$  吨；提出的钒钛新能源无废产业链系统性解决方案得到示范所在地地市级及以上政府主管部门认可，带动年新增消费钒钛磁铁矿达到 50 万吨以上。

**有关说明：**由企业牵头申报。本指南应充分结合集成示范所在地地级市及以上政府部门在循环经济高质量发展等方面的有关部署，承诺配套经费和相关保障措施，出具

书面支持文件，产学研联合申报。

**关键词：**有色冶金，钒钛，固废资源化，低碳

#### **8.4 长江经济带铜基材料产业集聚区无废产业链构建及集成示范**

**研究内容：**针对长江经济带铜基材料产业集聚区固废产生量大、综合利用率低等问题，研究铜冶炼选铜尾渣氢基还原提铁技术，开发铜阳极泥多场耦合高效同步分离技术与装备，研发含油废铜屑真空减压高效清洁脱脂技术与装备，研发高纯再生铜材制备技术，研究铜冶炼特征污染物精准控制与全链条智能管控技术，形成铜基材料产业集聚区无废产业链构建系统性解决方案，开展集成示范，实现铜冶炼加工固废大幅减量和高值利用。

**考核指标：**选铜尾渣还原铁粉中铁品位 $\geq 90\%$ 、铁回收率 $\geq 80\%$ ；铜阳极泥碲浸出率 $\geq 80\%$ ，铜浸出率 $\geq 97\%$ ，多场耦合高效同步分离装备应用推广不低于 3 套；含油废铜屑处理后含油率 $\leq 1\%$ 、油脂回收率 $\geq 95\%$ ；高纯再生铜材纯度达到 5N 级；铜冶炼二氧化硫烟气收集系统吨铜能耗 $\leq 120$  kWh，

铜冶炼全过程智能管控平台实现铜铁硫砷铬 5 种以上元素流的动态模拟，数据管控工艺节点覆盖率 $\geq 80\%$ ；依托长江经济带国家级无废城市铜基材料产业集聚区开展集成示范，完成 5 万吨/年选铜尾渣氢基还原提铁、2500 吨/年含油废铜屑清洁高效脱脂、5 吨/年 5N 级高纯铜工程应用示范，实现稳定运行 3 个月以上，全链条固废减量 20%以上；提出的铜基材料产业集聚区无废产业链系统性解决方案得到示范所在地地市级及以上政府主管部门认可，并形成可复制的商业化推广模式，带动年新增消纳区域铜冶炼加工固废量达到 150 万吨以上。

**有关说明：**本指南应充分结合集成示范所在地地级市及以上政府部门在循环经济高质量发展等方面的有关部署，承诺配套经费和相关保障措施，出具书面支持文件，产学研联合申报。

**关键词：**有色冶金，固废资源化，铜，污染控制

## **8.5 锂云母产业集聚区冶炼渣规模化安全处置利用技术及集成示范**

**研究内容：**针对锂云母冶炼产业集聚区冶炼渣产生量大、毒害组分含量高、综合利用率低等问题，研究锂云母低温少盐焙烧转化与冶炼渣源头减量技术，研究冶炼渣活化解聚与氟铍铊毒害组分深度分离技术，研究解毒渣大规模无害化处置与安全利用技术，形成冶炼渣减量减害与安全处置利用系统性解决方案，开展集成示范，实现锂云母产业集聚区冶炼渣大规模消纳。

**考核指标：**吨碳酸锂产渣量减排 30%以上，吨熟料焙烧能耗 $\leq 80$  公斤标煤；脱毒尾渣浸出毒性氟 $< 100$  ppm，铍 $< 20$  ppb，铊 $< 5$  ppb；胶凝材料锂冶炼渣掺量 $\geq 40\%$ ，强度达到 42.5 MPa；依托锂云母产业集聚区，完成 30 万吨/年以上规模锂云母冶炼渣安全处置与综合利用集成示范，实现稳定运行 3 个月以上，冶炼渣实现 100%安全处置、综合利用率 $\geq 80\%$ ；提出的锂云母冶炼渣减量减害与安全利用系统性解决方案得到示范所在地地市级及以上政府主管部门认可，并形成可复制的商业化推广模式。

**有关说明：**由企业牵头申报。本指南应充分结合集成

示范所在地地市级及以上政府部门在循环经济高质量发展等方面的有关部署，承诺配套经费和相关保障措施，出具书面支持文件，产学研联合申报。

**关键词：**有色冶金，锂冶炼渣，污染控制，安全利用，源头减量

## 8.6 退役锂电池回收利用全链条优化集成及区域示范

**研究内容：**针对区域退役锂电池回收网络不健全、循环利用各环节链接不畅通等问题，研究区域退役锂电池回收网点布局与回收物流智能调度技术，研究融合快速检测和溯源信息的退役锂电池组合利用方式智能判别技术，研究多源退役锂电池优化匹配梯次利用与安全管控技术，研究退役锂电池回收利用全链条优化集成系统性解决方案，开展区域应用示范，破解退役锂电池正规回收利用成本高、规模小等关键制约瓶颈。

**考核指标：**单位退役锂电池回收物流成本降低 20%以上；退役电池剩余容量检测在偏差 8%的前提下，检测时间缩短至 3 分钟，关键信息溯源准确率 $\geq 90\%$ ；退役锂电池梯

次利用剩余容量利用率 $\geq 60\%$ ；依托长江经济带开展集成示范，新增区域退役锂电池回收网点不少于 10 个，退役锂电池回收量达到 10 万吨/年；完成 10 万吨级退役锂电池回收利用全链条优化集成技术应用示范，实现稳定运行 3 个月以上；提出的退役锂电池回收利用全链条优化集成系统性解决方案得到示范所在地地市级及以上政府主管部门认可，并形成可复制的商业化推广模式。

**有关说明：**由企业牵头申报。本指南应充分结合集成示范所在地的地级市及以上政府部门在循环经济高质量发展等方面的有关部署，承诺配套经费和相关保障措施，出具书面支持文件，产学研联合申报。

**关键词：**退役锂电池，回收，循环利用，管控