

## 附件 1

# “循环经济关键技术与装备”重点专项 2022 年度项目申报指南

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”）。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2022 年度项目申报指南。

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、无废盐清洁介质转化、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、产业循环链接等重大核心共性技术，以及一批关键材料、核心部件/软件、智能装备及数据库，创制循环经济系列技术标准和规范，形成 10~15 套多产业多场景循环经济科技创新技术体系，率先建成引领国际的关键产品循环产业链与战略区域低碳循环集成示范，全面提升二次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。

2022 年度指南围绕循环经济基础理论与颠覆性技术、工业固废源头减量与协同利用、产品绿色设计与废旧物资高质利用、城

乡垃圾与医疗废物高效分类利用、区域绿色低碳循环经济系统集成示范等五个方向进行任务研究部署，拟启动 30 个项目，拟安排国拨经费约 6 亿元。其中，围绕循环经济前沿技术与装备探索，拟部署 5 个青年科学家、5 个科技型中小企业项目，拟安排国拨经费 0.2 亿元，每个项目 200 万元。对于共性关键技术类项目，配套经费（包括地方财政经费、单位出资及社会渠道资金等）与中央财政经费比例不低于 1:1；对于企业牵头申报和集成示范类项目，其他经费（包括地方财政经费、单位出资及社会渠道资金等）与中央财政经费比例不低于 2:1。

项目统一按指南二级标题（如 2.1）的研究方向申报。每个研究方向拟支持 1~2 项（青年科学家、科技型中小企业项目除外），实施周期 3~4 年。所有项目均应整体申报，申报项目的研究内容必须覆盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标（青年科学家、科技型中小企业项目除外）。一般项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家，项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人。青年科学家项目不再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家，项目设 1 名负责人，青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为 1984 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1982 年 1 月 1 日以后出生，原则上团队其他参与人员年龄要求同

上。科技型中小企业项目要求由科研能力强的科技型中小企业牵头申报，项目不下设课题，项目参加单位（含牵头单位）原则上不超过 2 家，国拨经费强度 200 万、配套经费比例不低于 2:1，原则上不再组织预算评估，在验收时将对技术指标完成和成果应用情况进行同步考核。科技型中小企业标准参照科技部、财政部、国家税务总局印发的《科技型中小企业评价办法》（国科发政〔2017〕115 号）。

指南中“拟支持 1~2 项”是指：同一指南方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持 2 个项目。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

本重点专项 2022 年度项目申报指南如下：

## **1. 循环经济基础理论与颠覆性技术**

### **1.1 循环经济前沿技术与装备探索**

**研究内容：**选择应用信息、能源、材料、生物等多领域新兴技术手段，青年科学家项目重点研究资源密集型工业循环化重构新过程，研究固废转化或代谢过程调控新方法；科技型中小企业项目重点研究废旧物资高质循环利用新技术；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，完成扩大试验验证，产出样品、样机或工业软件，其中青年科学家项目：“资源密集型工业循环化重构新过程”研发任务单个项目应达到以下某一项指标：有色冶炼铁渣临界冶金重金属分离与铁渣减量技术实现铁渣 100%循环利用；铝硅基固废制备高模数水玻璃实现高纯石英原料 100%替代，模数  $> 3.4$ ，二氧化碳减排 50%以上；无硫铵己内酰胺清洁生产技术铵盐源头减量不低于 95%。“固废转化或代谢过程调控新方法”研发任务单个项目应达到以下某一项指标：海洋微塑料原位降解率达到 100%；秸秆干基物质水介质体系制备化学品产率达到 40%。科技型中小企业项目：“废旧物资高质循环利用新技术”研发任务单个项目应达到以下某一项指标：典型废旧家电产品智能识别率达到 95%；典型废旧机电产品零部件智能识别率达到 95%，相比新品制造实现碳减排 80%以上；废环氧树脂热处理产气热值达到  $12\text{MJ}/\text{Nm}^3$ ，制备纳米碳基材料比表面积  $> 900\text{m}^2/\text{g}$ ；铝基废材有机涂层热脱除及纯化后实现再生金属 100%原级利用；废烧结钕铁硼高效再造 50H 商用牌号磁体再生料占比达到 100%。

**有关说明：**本指南方向支持青年科学家、科技型中小企业进

行探索性研究，取得原创性成果。每项申报覆盖 1 条研究内容，其中，青年科学家项目：资源密集型工业循环化重构新过程（拟支持不超过 3 项）、固废转化或代谢过程调控新方法（拟支持不超过 2 项）；科技型中小企业项目：废旧物资高质循环利用新技术（拟支持不超过 5 项，牵头申报单位为科技型中小企业）。

## **2.冶金化工清洁生产与固废源头减量技术（共性关键技术类）**

### **2.1 湿法炼锌全过程实时监测与阳极泥危废源头削减调控技术**

**研究内容：**针对湿法炼锌核心单元过程实时直测调控手段缺乏导致的阳极泥危废产量大的问题，研究阳极泥主要产生过程多价态金属离子交互反应规律及其产泥机制，研发产泥离子光谱实时直测技术及设备，研发产泥离子微观化学信息实时直测离子网，研发实时直测离子网调控阳极泥源头减量技术及设备，开展工程示范。

**考核指标：**形成湿法炼锌全过程阳极泥危废源头削减离子网调控技术及装备，破解湿法过程实时测控减废难题。其中：阐明湿法炼锌全流程产泥过程铅、锰、铁等 5 种多价态金属离子的迁移传输机理及交互影响机制；实时直测设备的测定时间<8 秒/离子，实际工业液体检测相对误差（含制备误差和检测误差）低于

10%；离子网覆盖浸出、净化、陈化、电解等主要产泥单元，测控不低于 5 种多价态金属离子；依托 5 万吨电解锌/年以上规模生产线，建成基于离子网调控阳极泥源头减量工程示范，阳极泥产生量源头削减 80%以上，吨电解锌产生的阳极泥的处置成本降低 60%以上（处置成本按危废市场价格计算）。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利或软件著作权 10 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 2 项以上，其中团体标准及规范应正式发布）。

## **2.2 铝土矿拜耳法溶出赤泥源头减量技术及大规模示范**

**研究内容：**针对拜耳法赤泥产生量大、综合利用难等问题，研发基于新型添加剂的难溶铝矿物高效溶出技术，研发拜耳法赤泥形成过程矿物团聚体活化解离与结晶分离技术，研发钠、钾、硫、磷等杂质组分物理化学高效脱除技术，研究铝电解质中锂、钠、钾等碱金属杂质的积累行为及分离技术，研发百万吨级氧化铝拜耳法生产赤泥大幅源头减量工程技术，开展大规模工程示范。

**考核指标：**形成铝土矿拜耳法溶出赤泥源头大幅减量成套技术与装备，实现赤泥产出率大幅降低及赤泥中有价矿物高效综合利用。其中：溶出过程新型添加剂用量<干矿石量 1%，氧化铝相对溶出率>97.5%；高铁铝土矿溶出赤泥精选矿铁品位>55%，铁

回收率 > 70%，铁精矿中氧化钠（ $\text{Na}_2\text{O}$ ）含量 < 1%；铝电解质废渣中锂、钠、钾、氟、铝实现高值资源化利用，综合回收率 > 95%；建成百万吨/年一水硬铝石矿、高铁三水铝石矿溶出赤泥源头减排工程示范各 1 项，赤泥减排率分别 > 30%、60%，实现经济稳定运行，生产每吨氧化铝综合成本降低 80 元以上；形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 10 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 2 项以上，其中团体标准及规范应正式发布）。

### 2.3 钒铬富氧高效碱浸与危废源头减量技术及装备

**研究内容：**针对钒铬尖晶石矿物矿相结构稳定导致的钒铬提取率低、难处理危废产生量大等问题，研究两性金属碱介质活性氧强化氧化调控规律及高效浸出共性方法，研发转炉钒渣富氧碱介质直接提钒技术及装备，研发铬铁矿碱介质加压浸出高效清洁利用技术及装备，研发钒铬中间体可控还原短程制备高附加值产品技术，研发富铁尾渣深度脱碱除铬及高质利用技术，开展工程示范。

**考核指标：**形成钒铬富氧高效碱浸与危废源头减量技术及装备 2 套，解决钒铬矿相氧化及重金属危废处置难题。其中：碱溶液中活性氧浓度达到  $10^{-3} \text{ M}$  以上，目标金属浸出率 95% 以上；碱

浸反应釜反应介质中活性氧含量较常规通气方式提升 10 倍以上，建立万吨级转炉钒渣富氧碱介质直接提钒工程示范 1 项，全流程钒回收率由焙烧工艺的约 80%提升至 90%以上，重金属泥、芒硝减量 100%，实现经济稳定运行；耐浓碱腐蚀加压反应器容积 > 20m<sup>3</sup>，反应压力 < 3MPa，碱浓度由常压反应的 85%降低至 65%以下，建立万吨级铬铁矿加压碱浸工程示范 1 项，全流程铬回收率由焙烧工艺的约 80%提升至 95%以上，含铬芒硝减量 100%，实现经济稳定运行；实现电解液用高纯五氧化二钒（V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>）、航空航天用钒合金、颜料级氧化铬等 3~4 种高附加值产品批量生产；处理后的富铁尾渣铬等毒害元素浸出毒性满足国家标准（GB5085.3）要求，Na<sub>2</sub>O 含量 < 2%，100%资源化用于烧结炼铁。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 10 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 2 项以上，其中团体标准及规范应正式发布）。

#### 2.4 化工冶金硫资源定向转化回收单质硫技术

**研究内容：**针对化工冶金过程含硫废物量大面广、废盐产生量大、二次污染重等问题，研究有色冶金过程含二氧化硫（SO<sub>2</sub>）烟气回收单质硫技术，研发石化过程含硫化氢（H<sub>2</sub>S）废气低能耗回收单质硫技术及装备，研发湿法炼锌硫渣调控强化单质硫分

离与资源化技术，研发焦化脱硫废液深度回收单质硫及硫渣减量化技术，开展工程示范。

**考核指标：**形成 3~4 套化工冶金含硫废物硫资源相态调控定向转化回收单质硫成套技术及应用示范，解决含硫废物源头减量与高质利用难题，支撑化工冶金过程绿色升级。其中： $\text{SO}_2$  烟气制备硫磺资源化利用率 95% 以上；石化  $\text{H}_2\text{S}$  废气吸收装备能耗不超过  $0.3\text{kW/kg H}_2\text{S}$ ，硫资源回收率 96% 以上；湿法炼锌硫渣中单质硫回收率 95% 以上，锌、银回收率  $>90\%$ ；焦化脱硫泡沫中单质硫资源回收率 95% 以上，处理成本较制硫酸工艺降低 50% 以上，HPF（HPF 催化剂湿式氧化脱硫）法脱硫废渣减量 80% 以上；建成万吨级与百吨级（硫磺产品计）含硫废物回收单质硫工程示范、中试示范线各 1~2 项，实现经济稳定运行，硫资源回收率 95% 以上，硫磺纯度 99.5% 以上，硫磺产品新增效益 1000 元/吨以上。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 10 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 3 项以上，其中团体标准及规范应正式发布）。

### **3.工业固废综合利用与协同处置技术（共性关键技术类）**

#### **3.1 低品位碳酸锰矿锰渣全过程控制与资源化利用技术**

**研究内容：**针对长江经济带“锰三角”地区低品位碳酸锰矿

资源利用效率低、锰渣产生量巨大等问题，研发低品位锰矿干湿联合梯次选矿技术及装备，研发高纯硫酸锰制备过程深度除杂与控制技术，研发锰渣中锰、铁、钴、镍、锌等有价值成分强化提取与梯级利用技术，研发锰渣大规模无害化处理与分级选别技术及装备，开发无害化锰渣资源化利用技术及产品体系，提出锰渣全过程控制与资源化利用系统解决方案，开展工程示范。

**考核指标：**形成符合我国“锰三角”地区锰矿利用特点的锰渣源头减量—过程控制—梯级利用成套技术与装备，解决锰渣综合利用技术难题。其中：开发高效预选装备 1 台套，将锰矿石品位提高 5 个百分点以上，选矿回收率 > 80%，废渣源头减量 20% 以上；形成锰渣重金属湿法分离技术，锌、钴、镍回收率 > 90%，硫酸锰产品达到电池用标准要求（HG/T 4823）；锰渣复盐转化率 > 95%，铵盐回收率 > 90%，铁、锰回收利用率超过 90%，无害化处理后达到《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）I 类一般工业固体废弃物要求，且环境风险可控；开发建筑材料、土壤改良剂等无害化锰渣资源化利用产品 3~5 种且环境风险可控，消纳能力达到 20 万吨/年以上；形成锰渣全过程控制与资源化利用系统解决方案，依托长江经济带“锰三角”地区，开展工程示范，集中建成 10 万吨级低品位锰矿干湿选矿、

5 万吨/年高纯硫酸锰、10 万吨级无害化资源化处置利用等系列示范工程，支撑每年减少锰渣堆存总量达到百万吨级。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 7 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 3 项以上，其中团体标准及规范应正式发布）。

**有关说明：**由企业牵头申报。

### **3.2 有机污染化工废盐高值利用技术及装备**

**研究内容：**针对化工行业有机污染钠基废盐处理难度高、产品难以利用等问题，研究废盐污染特征和大规模高值化利用途径，研发废盐中污染物热法高效协同脱除与盐溶液反应/吸附深度净化装备及技术，研发钠基混合盐物化分离和酸碱等大宗高值产品转化制备技术，研发惰性及毒害组分固化无害化处置技术，提出化工废盐高值利用系统性解决方案，开展工程示范。

**考核指标：**形成典型化工行业有机污染钠基废盐高值化清洁利用成套化技术及装备，解决化工废盐处理成本高、难以大规模利用等行业瓶颈问题。其中：构建 2~3 个不同化工行业的典型废盐污染特征数据库，形成 3 条以上大规模高值化利用技术途径；万吨级大型废盐热化学转化除杂装备能耗较行业现有主流装备降低 10% 以上，有机物总脱除率 > 99%，总有机碳 TOC 降低到

10ppm；高盐溶液反应/吸附深度除杂与精制技术总有机碳 TOC 从传统氧化技术的 100 ppm 降低到 10ppm，重金属总量从 1000~2000ppb 降低到 300ppb，满足离子膜氯碱稳定运行的原料要求，废盐利用掺比达到 30%以上，利润率 > 200 元/吨；钠基废盐制备高值产品成套技术钠离子回收率 > 95%，残渣量较传统工艺消减 60%以上，形成纯碱等 4 种以上大宗高值化产品；依托典型化工园区建成 2~3 项化工废盐高值利用示范工程，单项工程规模不低于 3 万吨/年，废盐高值化利用率 90%以上，综合效益较传统技术提升 30%以上。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 10 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 2 项以上，其中团体标准及规范应正式发布），建立商业化推广创新模式。

### 3.3 钢铁尘泥与有机固废低碳协同利用技术及装备

**研究内容：**针对钢铁冶金多金属尘泥资源化利用率低、化石能源消耗量大、多源固废协同处置能力差等问题，研发含铁锌多金属尘泥碳氢耦合深度还原技术，研发钢铁尘泥低碳还原与多金属分离技术与装备，研发金属化球团与有机固废协同熔炼技术及装备，研究钢铁尘泥与有机固废低碳协同利用污染控制技术与规范，开展工程示范。

**考核指标：**形成 1~2 套钢铁冶金多金属尘泥与多源有机固废协同处置示范装备。其中：含铁锌多金属尘泥碳氢耦合深度还原技术的化石能源可替代率 > 50%，金属还原率 > 90%；多金属定向分离技术及装备铁锌等有价金属回收率 > 95%；万吨级含铁固废与有机固废协同熔融热解炉的固废资源化率 > 98%，相比于传统工艺二氧化碳减排率 > 40%；建成 20 万吨级转底炉钢铁冶金多金属尘泥与多源有机固废协同处置示范工程，实现经济稳定运行，废气二噁英排放浓度低于 0.1ngTEQ/Nm<sup>3</sup>，烟尘浓度低于 2 mg/Nm<sup>3</sup>。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 10 件以上，形成标准及规范征求意见稿 2 项以上，其中团体标准及规范应正式发布），建立商业化推广创新模式。

**有关说明：**由企业牵头申报。

### **3.4 铜精矿大比例协同熔炼铜基废料智能化大型装备**

**研究内容：**针对铜精矿协同熔炼废线路板等铜基废料装备智能化水平低、协同冶炼能力差等问题，研发基于光学分析与工业互联网融合的多源铜基物料智能仓储—快速检测—自动配料技术，研发铜精矿大比例协同熔炼多源铜基固废过程交互反应调控技术，研发协同熔炼反应器关键材料及高温在线检测元器件，研发协同熔炼过程智能控制技术 & 大型化集成装备，研发冶炼过程

中二噁英源头减控与深度净化技术，开展工程示范。

**考核指标：**形成 1~2 套铜精矿大比例协同熔炼铜基废料智能化大型装备，提升多源铜基二次金属资源高效循环利用能力。快速检测装置精度 > 90%，自动配料与传输装置识别率 > 98%；新型镁铬尖晶石耐温耐蚀炉衬材料使用寿命 > 12 个月，熔体温度、界面高度、烟气成分等在线检测元器件检测精度分别达到  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 、5cm 和  $\pm 2\%$ ；仿真模型与智能管控平台覆盖单元数 > 90%，精度 > 90%；大型协同熔炼反应炉成套装备床面积达到  $20\text{m}^2$ ，床能率 >  $50\text{t}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ，二噁英排放浓度低于  $0.1\text{ ngTEQ}/\text{Nm}^3$ ；建成 30 万吨/年协同熔炼工程示范，铜基固废搭配比例从 5% 提高到 15% 以上，协同处理铜基固废 5 种以上，铜和稀贵金属回收率分别 > 98% 和 97%。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 12 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 1 项以上，其中团体标准及规范应正式发布），建立商业化推广创新模式。

**有关说明：**由企业牵头申报。

### **3.5 铅锌矿搭配金属基固废铅锌同步冶炼技术及装备**

**研究内容：**针对原生铅锌矿火法冶炼搭配处理金属固废过程难度大、循环利用效率低等问题，研发复杂金属固废资源属性与智能配料技术，研发复杂高锌物料脱硫熔融与烟气污染控制技术，

研发高锌脱硫产物铅锌同步还原直接回收金属锌技术，研究冶炼炉渣深度贫化与尾渣调质利用技术，研制高锌物料富氧熔炼脱硫—铅锌同步还原熔炼—金属锌捕集回收成套装备，开展工程示范。

**考核指标：**形成铅锌矿搭配金属固废铅锌同步冶炼成套技术与装备，破解富铅锌金属固废短流程清洁高效循环利用难题。其中：开发具有过程跟踪、配料计算、决策控制、自适应等功能的冶金过程智能配料软件平台 1 套，满足 10 种以上复杂物料的智能配料；熔炼脱硫产物锌含量 25%以上、硫含量 2%以下、熔点 1300℃以下，净化烟气中二噁英浓度达到《再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准》（GB 31574）中特别排放限值要求；铅锌同步还原铅回收率 95%以上、锌回收率 90%以上；贫化冶炼炉渣铅、锌含量低于 2%；形成铅锌矿搭配金属固废铅锌同步冶炼成套装备 2~3 套，建成 10 万吨级工程示范 1~2 项，实现经济稳定运行，单套装备搭配金属固废 5 万吨/年以上，冶炼物料锌含量 30%以上，铅锌综合回收率 95%以上，稀贵金属回收率 97%以上。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 12 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 1 项以上，其中团体标准及规范应正式发布）。

#### 4.产品绿色设计与绿色供应链构建技术（共性关键技术类）

#### 4.1 手机及平板电脑数字化绿色设计技术及应用示范

**研究内容：**针对手机及平板电脑全生命周期节能减排、易循环利用等需求，研究手机及平板电脑全生命周期环境负荷、碳足迹测算方法，研发主要零部件再生原料大比例替代利用技术，开发基于神经网络算法的易拆解结构设计工业软件系统，研发产品全生命周期数据动态获取和聚类汇集技术，研发产品环境负荷、碳足迹在线评估与优化技术，开展应用示范。

**考核指标：**形成覆盖市场主流类型手机及平板电脑的数字化绿色设计方法及标准，解决产品环境影响复杂多因素调控与优化难题。其中：研究建立手机及平板电脑绿色设计方法 1 套，碳足迹等环境负荷覆盖其原材料生产、产品制造、消费流通、回收利用等全生命周期过程；揭示 2~3 种再生原料替代对主要零部件组织性能的影响规律，实现再生原料替代比例达到 50%~70%，铅含量 $<0.1 \text{ wt}\%$ 、镉含量 $<0.01 \text{ wt}\%$ ；形成手机及平板电脑易拆解结构设计工业软件，可支撑单线拆解效率达到 200 部/小时以上；实现手机及平板电脑全生命周期数据在线收集，其中手机及平板电脑制造流程数据动态收集覆盖率 $>90\%$ ；建立产品数字化绿色设计平台，实现手机及平板电脑环境负荷和碳足迹在线评估、智能诊断与调控优化，支撑产品全生命周期碳排放下降 30%以上，产品

环境负荷降低 30%以上；实现手机及平板电脑绿色设计方法及标准应用示范,支撑 1~2 家企业相关产品年制造能力达到十万台级。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利或软件著作权 5 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 10 项以上，其中团体标准及规范应正式发布），提出商业化推广创新模式建议方案。

**有关说明：**由企业牵头申报。

#### **4.2 一次性塑料包装绿色替代与低成本制造技术**

**研究内容：**针对生物可降解塑料降解机理不明、制造成本偏高等一次性塑料包装绿色替代难题，开展不同来源生物可降解塑料包装全生命周期资源环境影响评价，研究市场主流类型生物可降解塑料包装降解行为及其调控技术，研发生物可降解塑料中间体高纯度丙交酯催化合成与低能耗聚合生产聚乳酸技术，研发基于环氧丙烷、环氧丁烷的二氧化碳基生物可降解塑料高效催化与低能耗聚合技术，研发聚乳酸、二氧化碳基塑料、脂肪芳香共聚酯等共混复配与塑料包装低成本改性加工技术，支撑开展工程示范。

**考核指标：**形成生物可降解塑料包装强化降解、聚乳酸低成本制备、二氧化碳基生物可降解塑料低能耗聚合等关键技术及装

备，解决一次性塑料包装绿色替代和低成本制造难题。其中：建立生物可降解塑料包装全生命周期资源环境影响清单，覆盖石油基、生物基、二氧化碳基等不同原料来源，提出降低全生命周期环境排放 10%~20%的调控策略；揭示生物可降解塑料包装的降解行为过程，覆盖土壤填埋、垃圾发酵、水体环境等典型场景，将室温浅表土壤环境下的降解时间降至 180 天以内；一步法催化制备丙交酯分离纯化后化学纯度不低于 99%、光学纯度不低于 99.5%，席夫碱铝催化丙交酯制备聚乳酸的转化率不低于 98%，降低生产成本 15%以上；耐高温锌系催化剂选择性不低于 97%，每公斤可催化制备的聚合物由 50kg 提升至 200kg 以上，降低吨综合能耗 20%以上；改性生物可降解包装薄膜（0.025mm）拉伸强度不低于 35MPa，断裂伸长率不低于 350%，较市场同类产品降低生产成本 30%以上；分别建成年产 15 万吨丙交酯、15 万吨聚乳酸、5 万吨二氧化碳基可降解塑料生产装置，实现经济稳定运行。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 10 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 3 项以上，其中团体标准及规范应正式发布），建立商业化推广创新模式。

## **5.废旧物资智能解离装备与高质循环技术（共性关键技术类）**

### **5.1 废塑料薄膜脱污净化与高值循环利用技术及装备**

**研究内容：**针对多领域废塑料薄膜极易碎片化、表面脱污难而造成的白色污染问题，开发高强度易回收多层复合膜自增强共挤出技术，研发废薄膜高效脱污节水净化技术及装备，研发废薄膜再生料拉伸流变与原位合金化再造包装材料技术及装备，研发废薄膜免分拣再生土工膜等功能材料技术，研发废薄膜回收利用减污降碳协同增效技术，开展工程示范。

**考核指标：**形成高强度易回收薄膜高效制造与高值循环利用技术装备及典型领域应用示范，解决废塑料薄膜强度不足、污染严重等制约瓶颈。其中：高强度易回收地膜（保持 10 $\mu\text{m}$  厚度不变）纵向拉伸力达到 6N、横向拉伸力达到 4N；废地膜无水预处理及节水净化装备能力分别达到 15t/h、2t/h，单位水损耗不高于 0.1 m<sup>3</sup>/t；废食品包装膜脱污装备能力达到 2t/h，污水回用率 > 98%；废地膜再生集束包装膜再生料含量 > 40wt%，灰分 1wt% 以下，拉伸强度达到 40MPa；废食品包装膜再生土工膜再生料含量 > 50wt%，气味等级达到 3 级以下，拉伸强度达到 30MPa；建成千吨级/年高强度易回收地膜高效制造示范工程 1 项，实现西北地区地膜示范应用 10 万亩以上，辐射带动应用 100 万亩以上，废地膜一次机械化回收率由 75% 提高至 95% 以上；建成千吨级/年废地膜、废食品包装膜高值循环利用示范工程各 1 项，再生造粒吨

能耗不高于 320kW·h、400kW·h，相比现有技术降低二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放 20%以上，实现经济稳定运行。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 10 件及以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 3 项以上，其中团体标准及规范应正式发布），建立商业化推广创新模式。

## 5.2 废旧镍/钴/金/钨再生金属深度提纯技术及装备

**研究内容：**针对废旧镍/钴/金/钨等再生金属杂质含量高，不能满足高端利用的瓶颈问题，研究多金属资源再生过程杂质迁移转化规律与选择性强化提质原理，开发废旧高温合金再生镍钴金属气泡强化精炼除杂工艺及真空提纯装备，开发废线路板再生高含金物料强化浸出-萃取工艺及控氧精炼装备，开发废液晶显示器再生高含钨物料机械强化浸出一置换工艺及混沌搅拌装备，开展二次高纯金属镍/钴/金/钨高端利用性能评价研究。

**考核指标：**形成针对废旧镍/钴/金/钨再生金属的深度提纯技术及装备，解决二次战略金属杂质含量高，难以满足高端利用的瓶颈问题。其中：建立复杂多金属选择性强化浸出分离理论体系，覆盖含镍/钴/金/钨的 3~4 类再生金属；废旧镍钴合金真空提纯装备单台处理能力达到吨级规模，真空度不高于 3Pa，相比传统合金重熔再造装备处理节能 10%以上，钴镍回收率 99%以上，再造

镍钴合金应全部源于废旧高温合金，再造合金中氧、氮、硫含量均不高于 10ppm，再造合金达到航空航天高温零部件用材水平；高含金二次物料非线性精准控氧精炼装备单台处理能力达到公斤级规模，控氧精度达到 99.9%，相比传统精炼装备节能 15%以上，金回收率 99.5%以上，再造高纯金的原料应全部源于二次物料，再造金纯度达到 5N，再造金性能达到航空航天用金钎料要求；高含铟二次物料旋流混沌强化搅拌高效浸出装备单台处理能力达到百公斤级规模，相比传统工艺搅拌强度提升 15%，铟回收率 99%以上，再造高纯铟的原料应源于二次物料，再造铟的纯度达到 6N，再造铟性能达到半导体化合物、高纯合金用超高纯铟要求。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 10 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 3 项以上，其中团体标准及规范应正式发布）。

## **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 塑料添加剂危害性筛查及预测关键技术**

**研究内容：**针对我国塑料产品中化学添加剂的危害性数据缺失及筛查预测困难问题，研究塑料中阻燃/增塑/稳定剂释放、环境迁移及生物蓄积性的定量构效关系（QSAR）预测模型，研究添加剂类化学品毒性的高通量测试与组学“大数据”机器学习预

测模型，研发化学品致癌性等终点的图神经网络预测模型及离体-活体毒性外推技术，研究不同毒性高内涵成像与深度学习筛查技术并用于阻燃/增塑/稳定剂的筛查，集成开发化学品危害性预测模型及筛查技术的计算毒理学工业软件。

**考核指标：**形成塑料添加剂类化学品高通量、低成本危害性筛查预测技术及软件，支撑解决数据缺失及预测评价难的问题。其中：测定 10 种塑料产品中 20 种以上阻燃/增塑/稳定剂的释放速率，构建化学品迁移及生物蓄积性的 QSAR 模型 10 个以上，模型拟合优度 ( $R^2$ ) 值 0.85 以上，预测能力 ( $Q^2$ ) 由 0.6 提升至 0.75 以上；构建内分泌干扰效应等多毒性终点的化学品高通量测试及组学“大数据”机器学习筛查模型，准确性（工作特征曲线下面积 AUC）由 65% 提升至 80% 以上；构建化学品致癌性等终点的图神经网络模型 3 个以上，突破建立离体-活体毒性外推模型 2 个以上，实现预测准确性 70% 以上；化学品肺、肝毒性等终点的高内涵成像与深度学习筛查技术筛查准确性（AUC）不低于 70%；形成工业软件 1 个并面向社会公众开放，应用域可视化，实现 10000 种化学品 15 类以上危害性数据的查询、预测及展示，编制塑料行业优控化学品名录。形成覆盖研究内容的技术专利与导则体系（申请技术发明专利 5 件以上，形成技术导则 4 项），

在国家化学品管理相关部门推广应用。

## 6.2 氰氯毒害原料源头替代绿色制备碳四醚酯技术

**研究内容：**针对甲基丙烯酸甲酯（MMA）、环氧丁烷等典型碳四醚酯生产过程大量采用氰氯剧毒原料、环境风险高等问题，研究氰氯剧毒原料替代组分的定向迁移转化调控技术和碳四醚酯重构全过程风险评估方法，研究煤基合成气替代氢氰酸的 MMA 制备新过程及高效催化体系，研究强放热羟醛缩合关键反应器及工程放大技术，研究煤基混合醇替代氯气羰化热解合成环氧丁烷新过程及高效催化体系，研究环氧丁烷催化羰化热解反应分离耦合专属装备及工程放大技术，开展工程示范。

**考核指标：**形成剧毒氰氯原料替代的 MMA 和环氧丁烷绿色制备成套技术及应用示范，解决氰氯基团源头替代的碳—氧键温和定向构筑及专属反应器工程放大共性难题，支撑毒害原料源头替代绿色制备技术发展。其中：阐明氰氯剧毒原料官能团替代的全过程转化途径和环境交互作用规律，建立全过程风险评估方法模型 1~2 项，实现氰氯剧毒原料源头替代率达 100%；形成 1 套替代氢氰酸原料的煤基合成气—乙烯制 MMA 成套技术及万吨级氧化强放热列管反应器装备，单台年处理量 5 万吨以上，熔盐进出口温差 5℃以下，MMA 产品收率 75%以上，纯度 99.9 wt%以

上，与氢氰酸工艺相比原子利用率提升 30%；形成 1 套替代氯气原料的煤基混合醇羰化热解制环氧丁烷成套技术及万吨级催化热解强吸热管式膜反应器装备，单台年处理量 1 万吨以上，导热油进出口温差 5°C 以下，碳酸丁烯酯单程热分解率 >98%，羰化过程碳酸丁烯酯收率 99% 以上，热解过程环氧丁烷产品收率 95% 以上，纯度 99.9 wt% 以上，热解过程环氧丁烷产品收率 95% 以上，纯度 99.9wt% 以上；建成剧毒氰氯原料替代的 MMA 和环氧丁烷示范工程各 1 项，处理规模分别达到 5 万吨/年和万吨级/年，氢氰酸源头替代 100%，氯气源头替代 100%，实现经济稳定运行。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请技术发明专利 10 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 2 项以上，其中团体标准及规范应正式发布）。

## **7.城乡垃圾和医疗废物高效分类利用技术（共性关键技术类）**

### **7.1 医疗垃圾小型化原位快速启停安全处置技术及装备**

**研究内容：**针对基层及疫情防控等特殊场景下医疗垃圾分散性广、收运风险高、灵活处置能力弱等难题，研究医疗垃圾智能化无人接触式收运技术，研究医疗垃圾时空分布特性及动态变化约束下的快速热解技术，研究医疗垃圾原位热解快速增温元器件与智慧管控系统，研究医疗垃圾快速处置过程污染组分排放控制

技术，研制医疗垃圾小型化移动式撬装热解焚烧成套装备，并开展推广应用，支撑医疗垃圾安全处置与应急能力建设。

**考核指标：**形成医疗垃圾小型化原位快速启停安全处置技术及装备，解决医疗垃圾处置装备灵活性差、增温及启停速度迟缓等重大问题，实现医疗垃圾原位、快速、安全处置。其中：医疗垃圾智能化收运机械臂实现上料过程无人值守；建立 2~3 个不同区域医疗垃圾特征数据库，快速热解效率不低于 99.9%；医疗垃圾原位快速热解增温元器件与智慧管控系统加热模块增温至 850°C 时间不高于 3 小时，热解装置热态启动时间不高于 10 分钟；医疗垃圾快速处置过程污染组分排放控制技术尾气排放符合 DIRECTIVE2010 标准，二噁英排放浓度不高于 0.5 ngTEQ/Nm<sup>3</sup>；建成医疗垃圾小型化移动式撬装热解焚烧装备 1 套，处理规模不低于 1 吨/天，减容率 95%以上，尺寸不超过 40 英尺标准货柜，达到连续运行时间不低于 168 小时能力。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 10 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 1 项以上，其中团体标准及规范应正式发布），建立商业化推广创新模式。

## **7.2 京津冀分类生活垃圾精细利用与协同减碳技术及装备**

**研究内容：**针对京津冀分类生活垃圾精细利用需求，研发生

活垃圾可回收物智能识别—精细分选系统，研发分类高分子废弃物催化裂解—提质利用技术及装备，研发分类生物质固废发酵产热与余热协同增温保温技术，研发发酵残余物高热值协同热处理、低热值肥料化技术与装备，设计京津冀分类生活垃圾精细利用与协同减碳系统解决方案，开展工程示范

**考核指标：**形成京津冀分类生活垃圾精细利用成套技术装备及协同减碳系统解决方案，提出有机组分处理产物制氢技术方向，解决分类生活垃圾处理利用关键瓶颈。其中：分选产物 > 5 种、分选效率 > 90%；分类高分子废弃物催化裂解—提质利用燃料油收率不低于 45%；生物发酵产品气热值不低于 8500 kcal/Nm<sup>3</sup>；发酵残余物高热值协同热处理、低热值肥料化技术与装备燃气热值不低于 10000 kcal/kg，有机肥产品符合生物碳基有机肥料《绿化用有机基质》（GB/T 33891-2017）标准；依托京津冀地区建立示范工程 1 项，日处理分类垃圾 300 吨以上，实现经济稳定运行，相比焚烧处理碳减排 30%以上。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 10 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 3 项以上，其中团体标准及规范应正式发布），建立商业化推广创新模式。

### 7.3 污泥—低阶煤协同热解与秸秆水解耦合技术及装备

**研究内容：**针对低阶煤产量大、污泥处理处置及秸秆资源化利用效率低等问题，研究污泥—低阶煤—秸秆高效协同处置利用全过程物质流、能量流调控方法，研究污泥与低阶煤协同热解转化高品质燃料技术及大型装备，研究钙基复合材料催化污泥—低阶煤协同固硫控氮及固化重金属技术，研究热解副产物与农业秸秆催化水解制备高附加值生物制品技术，依托国家能源革命综合改革试点地区开展高硫低阶煤—污泥—秸秆协同利用工程示范。

**考核指标：**形成污泥—低阶煤—秸秆清洁低碳转化成套技术及装备，为破解低阶煤高效利用、污泥安全处置、秸秆高值化利用等问题提供综合解决方案。其中：形成污泥—低阶煤—秸秆协同利用物质流、能量流分析模型 1 项，预测准确度 80%以上；形成污泥—低阶煤协同制备生物质型炭联产富氢气态燃料技术与分段调节—自循环大型热解装备，热解温度 700℃以下，热解原料中污泥占比不低于 50%(含水率 30%计)、低阶煤占比不低于 30%，生物质型炭强度 > 650N/个，孔隙率不低于 20%；形成钙基复合材料催化低阶煤—污泥协同固硫控氮技术，固硫率 65%以上，污泥氮定向氨转化率 60%以上；形成低阶煤—污泥协同热解副产物用于秸秆水解成套技术，秸秆干基利用率 100%；形成低阶煤—污泥—秸秆清洁低碳转化耦合成套技术，依托国家能源革命综合

改革试点地区，建成 10 万吨级/年示范工程，协同处置过程氮、硫利用率 95%以上，万元总产值能耗降低 30%，综合成本下降 40%。形成覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 10 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 3 项以上，其中团体标准及规范应正式发布）。

**有关说明：**由企业牵头申报。

## **8.重点区域循环经济系统集成技术及示范（集成示范类）**

### **8.1 报废电动汽车智能拆解高值利用成套技术及集成示范**

**研究内容：**针对报废电动汽车品种繁多、报废状态及结构复杂，大规模集中拆解利用难题，研发报废汽车连续式高效拆解及智能仓储输送系统，研发报废车壳整体破碎—涂装脱除一体化装备及多级分选技术，研发退役机电控模块智能检测及再利用与退役电池智能拆解技术，研发废轮胎综合利用及废座椅、废涂装等有机拆余物环保处置技术，研发全链条智慧监测与能源环境大数据绿色低碳调控技术，依托长三角国家级绿色产业示范基地开展集成示范。

**考核指标：**形成报废电动汽车智能拆解高值利用成套技术装备及园区化集中处理综合解决方案，破解传统拆解流程冗长、高值利用不足及环保管控欠缺等关键瓶颈。其中：报废汽车连续式

拆解系统自动化率 70%以上；报废车壳整体破碎-涂装脱除一体化装备处理能力不小于 50t/h，金属车身涂装脱除率 95%以上；退役机电控模块检测准确率达到 99%以上，退役电池拆解破碎铜、铝及正负极材料综合回收率达到 95%以上；废轮胎综合利用率达到 95%以上，废座椅、废涂装等有机拆余物热处理苯系化合物排放 $<0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 、二噁英类排放 $<0.1\text{ ngTEQ}/\text{Nm}^3$ ；形成全链条智慧监测数字网络，实现大数据管控覆盖主要品种固废循环利用关键工艺节点 60%以上；依托长三角国家级绿色产业示范基地循环产业园区单一地块，集中连片建成 3 项示范工程，报废电动汽车拆解量、退役电池拆解量、废轮胎综合利用量分别达到 10 万台/年、3 万吨/年、10 万吨/年，实现经济稳定运行；形成覆盖研究内容的技术专利与标准体系（申请发明专利 10 件以上、软件著作权 3 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 3 项以上，其中团体标准及规范应正式发布），建立商业化推广创新模式。

**有关说明：**由企业牵头申报。本指南方向针对报废电动汽车智能拆解高值利用及园区化集中处理，应充分结合当地党委政府在环境污染攻坚战方面的有关部署，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。在项目实施过程中，加强相关配套条件和措施、政策的组织协调，依托长三角国家级

绿色产业示范基地，开展集成示范，努力把该示范项目打造为解决国内同类问题的绿色低碳循环发展样板。

## 8.2 磷石膏源头提质及规模化消纳技术及集成示范

**研究内容：**面向长江中下游地区特色胶磷矿资源利用过程中磷石膏大规模综合利用需求，研究磷矿湿法分解过程杂质深度脱除及磷酸/磷石膏源头协同提质技术，研究磷石膏低温还原分解制硫酸联产低碳钙基材料技术及装备，研究磷石膏低成本制备系列中高端功能石膏制品技术，研究磷石膏高标准处置及制备大宗建筑基础材料技术，研究磷石膏无害化处置及“产—消—用”动态平衡大规模综合利用系统解决方案，依托长江中下游重点磷化工园区开展集成示范与应用。

**考核指标：**形成面向长江中下游特色胶磷矿资源的磷石膏大规模高质化综合利用成套技术，源头解决磷石膏杂质深度净化技术难题，支撑解决长江中下游磷化工产业集聚区磷石膏重大污染问题。其中：湿法磷酸反应过程磷酸产品铁、铝、镁杂质总含量由 5.0% 降至 2.0%（按五氧化二磷（ $P_2O_5$ ）浓度 49 wt% 折合），磷石膏  $P_2O_5$  含量  $<0.5\%$ ，完成 20 万吨/年工业生产线验证；磷石膏分解制硫酸成套技术及大型化低温还原分解装备反应温度不高于  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ ，气相  $SO_2$  浓度不低于 8%；形成 100% 磷石膏制备纸

面石膏板等系列中高端功能石膏制品成套技术，9.5mm 板材纵向断裂载荷 > 420 N，面密度 < 6.5 kg/m<sup>2</sup> 且环境风险可控；磷石膏高标准无害化处置后浸出液中总磷含量 0.5mg/L 以下、氟化物含量 10mg/L 以下，处置制备大宗建筑基础材料满足 I 类一般工业固体废物要求（GB18599）且环境风险可控；形成磷石膏大规模综合利用与“产—消—用”动态平衡系统解决方案，建立覆盖研究内容的技术专利与标准（申请发明专利 12 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 3 项以上，其中团体标准及规范应正式发布），依托长江中下游重点磷化工园区开展集成示范与应用，集中建成 5000 万平方米/年磷石膏制备纸面石膏板、20 万吨/年磷石膏还原制酸、10 万吨/年以上磷石膏资源化利用系列示范工程，实现经济稳定运行，支撑磷石膏年消纳能力 200 万吨以上，磷石膏综合利用率提高到 70% 以上，建立商业化推广创新模式。

**有关说明：**由企业牵头申报。本指南方向针对长江中下游特色胶磷矿资源转化利用过程磷石膏大规模高质化综合利用，应充分结合当地党委政府在环境污染攻坚战方面的有关部署，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。在项目实施过程中，加强相关配套条件和措施、政策的组织协调，

依托长江中下游地区典型磷化工园区，开展集成示范，把该示范项目打造为解决国内同类问题的绿色低碳循环发展样板。

北京林业大学 bifu