

国家重点研发计划“循环经济关键技术与装备”

重点专项 2022 年度项目申报指南

(征求意见稿)

“循环经济关键技术与装备”重点专项围绕国家战略需求，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，建立商业化推广创新模式，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，本重点专项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面进行任务研究部署，拟支持 21 个研究方向。同一指南方向下，除特殊说明外，原则上只支持 1 项（青年科学家项目除外），仅在申报项目评审结果相近、技术路线明显不同时，可同时支持 2 项，并建立动态调整机制，根据中期评估结果，再择优继续支持。

本重点专项所有项目均应整体申报，须覆盖全部研究内容和考

核指标（青年科学家项目除外）。项目实施周期 3-4 年。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，项目负责人年龄要求。基础研究领域项目，青年科学家项目团队年龄要求男性 35 周岁以下，女性 38 周岁以下；其他领域项目，要求男性 38 周岁以下，女性 40 周岁以下。

本专项鼓励产学研用联合申报，项目承担单位需推动研究成果转化应用和支持专项数据共享。

1 循环经济基础理论与颠覆性技术（青年科学家项目）

1.1 循环经济前沿技术探索

研究内容：交叉运用互/物联网、大数据、人工智能、新材料等多种新兴技术手段，开展循环经济领域前沿技术探索研究。研究资源密集型工业循环化重构新过程，研究废旧物资高质循环利用新技术，研究有机固废转化或代谢调控新方法，开展技术与装备验证。

考核指标：建立 2~3 项原创性理论与 5~8 项前沿技术原型，完成扩大试验验证，制备出样品或样机，实现资源密集型工业过程危废源头减量 100%、二氧化碳减排 50%以上，再生产品原料 100%来源于废旧物资，海洋微塑料原位降解率 100%，秸秆干基物质水介质体系制备化学品产率不低于 40%。

有关说明：本指南方向支撑青年科学家项目，每项申报覆盖下述一条研究内容即可：资源密集型工业循环化重构新过程（拟支持不超过 4 项）、废旧物资高质循环利用新技术（拟支持不超过 2 项）、有机固废转化或代谢调控新方法（拟支持不超过 4 项）。

2 冶金化工清洁生产与固废源头减量技术

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小于 8 秒/离子，实际水样比对检测相对误差（含制备误差和检测误差）满足 HJ762-2015 标准要求；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，新增效益 2000 元/吨阳极泥以上。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)。

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：针对拜耳法溶出铝土矿过程石灰添加量多、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小于干矿石量 1%，氧化铝相对溶出率大于 97.5%；高铁铝土矿溶出赤泥精选矿铁品位大于 55%，铁回收率大于 70%，铁精矿中 Na_2O 含量小于 1%；铝电解质废渣中锂、钠、钾、氟综合回收率大于 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，赤泥减排率分别大于 30%、60%，新增效益 100 元/吨氧化铝以上，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）。

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} 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大于 20m³,反应压力小于 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 V₂O₅、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;富铁尾渣浸出毒性满足国家标准 (GB 5085.7) 要求并全量化利用。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)。

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 SO₂ 烟气回收单质硫技术,研发石化过程含 H₂S 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: SO₂ 烟气电化制备硫磺资源化利用率 95%以上;石化 H₂S 废气吸收装备能耗不超过 0.3kW/kg H₂S,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、银回收率大于 90%;焦化脱硫废液硫资源回收率 95%以上,含硫渣减量 80%以上;建成万吨级 (硫磺产品计) 冶金含硫废物回收单质硫工程示范、百吨级 (硫磺产品计) 含硫废

物回收单质硫中试示范线各 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 2 项以上）。

3 工业固废综合利用与协同处置技术

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：永磁强磁筒式预选装备分选粒度覆盖 20 mm 以下，锰矿品位由 10%提高到 15%；形成锰渣重金属湿法分离技术，锌、钴、镍回收率大于 90%，硫酸锰产品达到电池用标准要求（HG/T 4823）；锰渣复盐转化率大于 95%，铵盐回收率大于 70%，铁、锰回收率超过 50%，无害化处理后达到 I 类一般工业固体废弃物要求（GB 18599-2020）；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，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）。

有关说明：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；万吨级大型废盐热解除杂装备能耗较行业现有主流装备降低10%以上，有机物总脱除率大于99%，TOC降低到10ppm；高盐溶液反应/吸附深度除杂与精制技术TOC从传统氧化技术的100ppm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；钠基废盐制备高值产品成套技术钠元素回收率大于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），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大于 50%，金属还原率大于 90%；多金属定向分离技术及装备铁锌等有价金属回收率大于 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大于 98%，相比于传统工艺二氧化碳减排率大于 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 0.1 ng-TEQ/Nm³，烟尘浓度低于 2 mg/Nm³。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），建立商业化推广创新模式。

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及大型化集成装备，研发烟气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。快速检测装置精度大于 90%，自动配料与传输装置识别率大于 98%；新型 SA 尖晶石耐温耐蚀炉衬材料使用寿命大于 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大于 90%，精度大于 90%；大型协同熔炼反应炉成套装备床面积达到 20m^2 ，床能率大于 $50\text{t}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ；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大于 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 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），建立商业化推广创新模式。

有关说明：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；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，单套装备金属固废搭配比例 30%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 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）。

4 产品绿色设计与绿色供应链构建技术

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案，解决产品环境影响复杂多因素调控与优化难题。其中：手机及平板电脑全生命周期环境负荷、碳足迹覆盖其原材料生产、

产品制造、消费流通、回收利用等全过程；揭示 4~5 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%，铅含量小于 0.1 wt%、镉含量小于 0.01 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动态收集覆盖率大于 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，支撑全生命周期污染物减排、碳减排达到 30~50%；实现 2~3 家大型企业开展应用示范，绿色设计手机及平板电脑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 5 件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 5 项以上），建立商业化推广创新模式。

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；分子筛负载催化制备的丙交酯化学纯度不低于99%、旋光纯度不低于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2项以上），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

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：针对农业、食品等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地膜自增强共挤出技术，研发废地膜、废食品包装膜高效脱污节水净化技术及装备，研发废地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，研发废食品包装膜免分拣再生土工膜等功能材料技术，研发废塑料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：形成高强度易回收地膜高效制造与废地膜、废食品包装膜高值循环利用技术装备及工程示范，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 μ m 厚度不变）纵向拉伸力不低于 6N、横向拉伸力不低于 4N；废地膜无水预处理装备能力达到 15t/h，节水净化装备能力达到 2t/h，单位水损耗不高于 0.1 m³/t；废食品包装膜脱污装备能力达到 2t/h，污水回用率大于 98%；废地膜再生集束包装膜再生料含量大于 40%，灰分 1%以下，拉伸强度达到 40 MPa；废食品包装膜再生土工膜再生料含量大于 50%，气味等级达到 3 级以下，拉伸强度达到 30 MPa；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/年废农膜、废食品包装膜高值循环利用示范工程各 1 项，再生造粒吨能耗分别不高于 320 kW·h、400 kW·h，相比现有技术水平降低 CO₂ 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 2 项以上），建立商业化推广创新模式。

5.2 废旧镍/钴/金/铜再生金属深度提纯技术及装备

研究内容：针对废旧镍/钴/金/铜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铜物料机械强化浸出—置换工艺及混沌搅拌装备，开展二次高纯金

属镍/钴/金/铟高端利用性能评价研究。

考核指标：形成针对废旧镍/钴/金/铟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/铟的 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 3 Pa，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 10 ppm，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 2 项以上）。

6 化学品环境健康风险控制与绿色替代

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%；形成跨平台的工业软件 1 个，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。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℃ 以下，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；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)。

7 城乡垃圾和医疗废物高效分类利用技术及装备

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；快速热解技术热解效率 80% 以上；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 3h，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，挥发性有机物不高于 0.1ng-TEQ/Nm³；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 h 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 2 项以上），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，研发大件垃圾防缠绕多级破碎分选系统，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自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焚烧、低热值肥料化技术与装备，提出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与协同减碳成套技术装备及系统解决方案，解决分类生活垃圾深度转化利用关键瓶颈。其中：大件垃圾金属分离率达到 98%以上，金属纯度达到 98.5%以上，一、二级破碎刀头服役寿命分别达到 8000h、4000h 以上；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%；生物发酵自产热与余热协同增温保温技术余热利用量达到 1500kJ/kg；发酵残余物高热值协同焚烧、低热值肥料化技术与装备燃气热值不低于 10000kcal/kg，有机肥产品符合生物炭基有机肥料《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 2 项以上），建立商业化推广创新模式。

7.3 低阶煤—污泥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，研究低阶煤—污泥—秸秆高效协同处置利用全过程物质流、能量流调控方法，研究低阶煤与污泥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低阶煤—污泥协同固硫技术，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：形成低阶煤—污泥—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：形成低阶煤—污泥—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；形成低阶煤—污泥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，生物质型炭强度大于 650N/个，孔隙率不低于 20%；形成钙基复合材料催化低阶煤—污泥协同固硫技术，固硫率 65%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%，收储运成本耐受 1000 元/吨；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 2 项以上）。

有关说明：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，研发退役电机、电控等核心模块智能检测与动力电池智能拆解技术，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；退役电机、电控等核心模块检测准确率达到 99%以上，退役动力电池拆解破碎铜、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小于 0.5 mg/m³、二噁英类排放小于 0.1 ng-TEQ/Nm³；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（发改办环资〔2020〕979号）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、退役动力电池拆解量、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，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿 2 项以上），建立商业化推广创新模式。

有关说明：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“产—消—用”动态平衡与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%降低至 2.0%(按 P_2O_5 浓度 49 wt%折合)，磷石膏 P_2O_5 含量小于 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℃，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，9.5 mm 板材纵向断裂载荷大于 420 N，面密度小于 6.5 kg/m^2 ；磷石膏高标准处置制备大宗建筑基础材料满足 I 类一般工业固体废弃物要求（GB 18599）， P_2O_5 和氟溶出率分别小于 0.5 mg/L 和 10 mg/L；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 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），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：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。