

## 附件 1

# “绿色生物制造”重点专项 2022 年度项目申报指南

(仅国家科技管理信息系统注册用户登录可见)

绿色生物制造重点专项以“绿色发展”理念为指导，聚焦生物技术在产业提升中的重大需求，以产业化为导向，重点围绕生物催化剂的创制与应用，进行基础研究—技术创新—产业示范的全链条设计；揭示生物制造“芯片”—核心工业酶和工业菌种的设计原理等基本科学问题，构建具有自主知识产权的核心生物催化剂，建立现代生物制造产业的支撑技术与装备体系，打破国外专利壁垒，解决我国生物制造产业的核心技术供给问题；实现大宗化工产品和化工聚合材料的万吨级生物制造生产及精细化学品生物合成路线产业化，解决一批关键短板化工产品的供应瓶颈；建立生物制造技术在发酵、化工、制药、冶金、采油、饲料、食品等行业的应用，形成绿色产业园区示范，取得显著的经济和环境效益；建立引领未来的生物制造前沿技术系统，抢占新一代产业制高点，为创造以生物质为基础原材料的新型生物制造产业链和绿色低碳生物经济格局奠定技术基础。

2022 年度指南部署坚持以绿色发展为指导原则，围绕碳中和关键技术、健康产品绿色生物制造关键技术、绿色过程生物制造

关键技术及应用示范等 3 个任务，拟启动 13 个方向，拟安排国拨经费概算 3.96 亿元。其中，围绕碳中和关键技术 1.1、1.2、1.4 等 3 个技术方向，拟各平行部署 1 个青年科学家项目，每个项目 300 万元，拟安排国拨经费概算 0.09 亿元。

本专项指南（青年科学家项目除外）要求以项目为单元整体组织申报，须覆盖所申报指南方向二级标题（例如 1.1）下的所有研究内容和考核指标，项目实施周期为 3~4 年。指南各方向拟支持项目数原则为 1 项（有特殊说明的除外），若同一指南方向下采取不同技术路线，评审结果相近，可以择优同时支持 2 项，根据中期评估结果择优再继续支持。除特殊要求外，每个项目下设课题数不超过 5 个，参与单位数不超过 10 个。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（项目名称后有标注）不下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。项目实施周期为 3 年，项目负责人年龄要求，男性应为 38 周岁以下（1984 年 1 月 1 日以后出生），女性应为 40 周岁以下（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。

## **1. 碳中和关键技术**

### **1.1 基于化学品合成的工业生物固碳新技术及过程强化（平行设立 1 项青年科学家项目）**

研究内容：通过催化科学、合成生物学、人工智能和纳米材料等学科交叉，创制以二氧化碳（CO<sub>2</sub>）为原料生产重要化学品

的工业酶催化新途径，实现工业生物固碳；研发高活性和高稳定的 CO<sub>2</sub> 捕集和反应用的工业酶催化剂；研究电催化与酶催化耦合的工业生物固碳过程合成化学品新技术；探索 CO<sub>2</sub> 与废弃生物质固碳新路线；建立 CO<sub>2</sub> 制备乙二醇、L-乳酸、二羟基丙酮、丙烯酸等重要化学品的工业生物固碳新工艺并进行固碳效益评价。

考核指标：（1）建立 CO<sub>2</sub> 高效工业生物催化和转化的智能型数据库，支撑 CO<sub>2</sub> 转化关键酶的挖掘与改造；（2）提出 2 条以上 CO<sub>2</sub> 催化转化高值化学品的工业合成新路线，研发 5 种以上 CO<sub>2</sub> 捕集和转化用的高效工业酶催化剂；（3）提出酶催化、酶—电催化等 3 种以上酶催化 CO<sub>2</sub> 工业转化过程强化新机制，建立可再生能源驱动的工业固碳新工艺（以上指标需在中期评估前完成）；（4）完成 CO<sub>2</sub> 制备重要工业化学品如乙二醇、二羟基丙酮、L-乳酸、丙烯酸等 3 种以上，建立百升级中试装置，产率达到 10g/L。制定出具有科学性、可量化、易操作的固碳效益评价指标体系。

拟支持项目数：不超过 3 项。

任务属性：重大共性关键技术。

有关说明：本任务拟采用“赛马”机制遴选优势单位，启动立项 3 项，实行中期评估淘汰制，最后只支持 1 个项目。

## **1.2 刚性环结构聚合单体及聚合物生物制造关键技术（平行设立 1 项青年科学家项目）**

研究内容：以木质纤维素、非粮生物质、有机废弃物等生物碳资源为原料，创制重要化工芳香及仿芳香聚合单体的生物基路线，

通过生物过程和材料化学聚合的协同技术，实现化工聚合材料的新型转化路线，解决当前单纯生物路线无法实现的问题。开展生物物质转化芳香及仿芳香的二酸和二醇单体的新工艺研究，开发高效、简便的分离技术，研究生物物质转化过程中微量杂质对聚合过程的影响规律，解决生物基分离放大过程中的工程问题和生产精制问题。基于不同来源生物基单体的制备、纯化及聚合过程中的科学和工程技术问题，揭示聚合反应动力学机理和过程，有效提高单体转化效率，抑制脱羧、生色等副反应发生，实现高分子量生物基聚酯的制备。通过生物基聚酯分子结构—功能设计，研究分子链微观结构、聚集态结构和材料性能之间的关系，解决高强高韧、高耐热、高阻隔、可控降解等关键问题，实现高力学性能与高阻隔性能的平衡。建立千吨级的工业示范，实现材料在工程塑料等领域的应用。

考核指标：创制 1~2 条芳香及仿芳香二酸和二醇类单体的生物基新路线，产品纯度达到聚合级要求，比现有路线效率提升 15% 以上，成本降低 30% 以上。开发生物基对苯二甲酸及其全生物碳聚酯的生产技术，生物基聚酯切片性能指标达到石油基聚酯切片国家标准，建立千吨级的工业示范。开发 2~3 个高阻隔全生物基聚酯新品种及建立至少 100L 规模的中试装置，生物基聚酯聚合单体全部为生物基来源单体，单体生物碳含量  $\geq 99\%$ ，聚酯特性黏度  $\geq 0.8$  dL/g，拉伸强度  $\geq 65$ MPa，380nm 紫外光透过率  $< 10\%$ ，色度 L 值  $\geq 70$ ，CO<sub>2</sub> 阻隔性能相对于 PET 提高 10 倍，O<sub>2</sub> 阻隔性

能提高 5 倍。基于项目开发技术，建立千吨级生物基聚酯聚合技术的工业示范，同时建立千吨级生物基聚酯应用加工制造技术的工业示范，整体工艺符合环保要求。

拟支持项目数：1~2 项。

任务属性：重大共性关键技术。

有关说明：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 1: 1。

### **1.3 低廉生物质制备全生物基可降解包装材料关键技术**

研究内容：以促进可再生农业及工业废弃物的资源化利用，实现全生物基可降解材料的绿色制备为目标，开展全生物基可降解包装材料绿色制造关键技术研究。以果渣、甘蔗渣等可再生食品工业废弃物为原料，通过高效预处理、工程菌株构建、智能发酵和产物精准分离等生物过程技术，制备可发酵糖、发酵乳酸和合成聚乳酸（PLA），解决目前可再生农业及工业废弃物综合利用率低等问题。基于生物基的对苯二甲酸、己二酸和丁二醇单体，研究催化剂定向设计、精准聚合反应控制和扩链剂开发等工程优化控制手段，突破酯化和缩聚反应合成聚己二酸/对苯二甲酸丁二醇酯（PBAT）关键技术，制备 PBAT 与 PLA 共聚的生物基可降解包装材料。建立千吨级全生物基可降解包装材料生产示范装置，并研究制定相应产品标准、技术规范和技术指南。突破生物基可降解包装材料供应壁垒，驱动低廉生物质向新材料领域发展，并达到主要原料为生物基的“碳减排”生产模式。

考核指标：突破果渣、甘蔗渣等废弃物预处理、发酵制备关键技术，果渣等废弃物可发酵糖 $\geq 50\%$ ，乳酸发酵水平 $\geq 80\text{g/L}$ ，发酵转化率 $\geq 80\%$ ，乳酸（LA）光学纯度达到99%以上；开发1套基于生物基对苯二甲酸、己二酸和丁二醇单体的PBAT类聚合技术，建立对苯二甲酸、己二酸、丁二醇生物基单体和PLA、PBAT及PBAT-PLA共聚三种可降解包装材料生产示范，建立生物基PBAT-PLA共聚可降解材料千吨级生产示范装置。可降解材料生产全链条中石化基单体碳输入为零，可降解包装材料生产成本与石化基原料来源的成本相当，生物基PBAT的量化指标为拉伸强度为35~44MPa，断裂伸长率 $\geq 600\%$ ，全生物基可降解包装材料拉伸强度 $\geq 30\text{MPa}$ ，断裂伸长率 $\geq 300\%$ ，提出产品国家标准3~5项。

拟支持项目数：1~2项。

任务属性：重大共性关键技术。

有关说明：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1:1。

#### 1.4 生物基橡胶绿色制造关键技术（平行设立1项青年科学家项目）

研究内容：以提升现有橡胶单体生物合成路线效率和经济性、创制生物基橡胶高效生物合成路线为目标，开展生物基橡胶的绿色生物制造相关研究。创建碳原子经济性高、代谢平衡的人工生物合成途径，获得高效的异戊二烯基因工程菌株；建立异戊二烯发酵关键技术，实现生物异戊二烯的低成本、高效、稳定的

转化；通过发酵与分离纯化单元技术有机集成建立异戊二烯生物合成工程化示范线。基于异戊二烯、丁二烯、衣康酸等生物基单体，开展聚合关键技术研究，同时探索研究生物法直接合成聚异戊二烯新方法。设计合成高分子量、高顺式结构及特殊结构与性能的生物橡胶材料；开发生物基功能填料及助剂（增粘、抗老化）的制备工艺，提升生物基橡胶性能。建立百公斤/批生物橡胶中试稳定制备技术；开展生物橡胶新产品应用示范研究。

考核指标：突破异戊二烯生物合成的关键科学问题，建立高效人工生物合成途径；突破生物异戊二烯制备关键技术，异戊二烯发酵浓度 $>20\text{g/L}$ ，产率 $>20\%$ ，得到纯度 $>99\%$ 的异戊二烯，建立百吨级/年工程化示范生产线。突破生物橡胶高效可控聚合中试关键技术，研制 2~3 种不同结构的生物橡胶材料；聚异戊二烯分子量  $M_w > 1.0 \times 10^6$ ，中试聚合规模百公斤/批；聚（衣康酸酯—异戊二烯）弹性体数均分子量 $>30$  万，拉伸强度 $>12\text{MPa}$ ，聚（衣康酸酯—丁二烯）弹性体数均分子量 $>25$  万，拉伸强度 $>15\text{MPa}$ 。研制 1~2 种生物基补强填料及功能助剂，部分替代现有化石基助剂用于生物基橡胶产品。生物基橡胶产品品质达到或优于国家标准（航空轮胎，GB 9745—2009 航空轮胎国家标准；全钢载重子午线轮胎（12R22.5）胎面胶及轮胎产品，GB/T 2977—2016 载重汽车轮胎规格、尺寸、气压与负荷国家标准；轿车轮胎，GB/T 2978—2014 轿车轮胎规格、尺寸、气压和负荷）；1~2 种新产品实现应用示范，新产品产能不低于 500 吨/年。

拟支持项目数：1~2 项。

任务属性：重大共性关键技术。

有关说明：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 1: 1。

## 2. 健康产品绿色生物制造关键技术

### 2.1 医用蛋白的绿色生物制造关键技术及应用

研究内容：针对组织修复、去皱、抗菌、纤溶、人白蛋白(HSA)等相关重要蛋白质，构建高效微生物表达系统，探索高密度发酵工程策略，实现高生物量下的高目标产物表达；研究医用级别的不含免疫性蛋白如血凝素的蛋白质表达及高效低成本分离技术，建立相关蛋白低免疫原性改造策略；创制以不同类型低免疫型胶原蛋白、高效穿膜去皱蛋白、抗菌蛋白、纤溶蛋白、人白蛋白等为代表的的医械产品或医用产品。

考核指标：建立完整的相关医用蛋白的工程菌构建、发酵、分离纯化和低免疫化绿色生物制造体系，获得 5~10 株分别用于组织修复、去皱、抗菌、纤溶、人白蛋白等的蛋白质工业生产菌株，不含血凝素等免疫蛋白；建立低免疫化工程菌定点糖基化修饰目标蛋白策略  $\geq 2$  个；通过体内松弛实现抗皱修复的修复蛋白质分子量  $\geq 5$  万道尔顿，具有高效穿膜渗透效果；重组人白蛋白中宿主蛋白残留  $< 1\text{ng/g}$ ，达到输液级质量标准，综合成本低于人血来源白蛋白；3~5 种医用蛋白发酵产量达 5~20g/L 以上；建立 3 种以上大分子蛋白高效规模化分离纯化工艺，纯度达到医用级或

者临床试验要求；相关蛋白产品安全性符合国家质量标准，其中外源 DNA 残留 $<1.5\text{ng/mg}$ ，细菌内毒素 $<0.5\text{EU/mg}$ ；开展 2~3 种医用蛋白的千公斤级产业化示范；完成 10~15 重组蛋白的医用及功能产品创制；获得新型医用产品等审批 2~3 件并上市。

拟支持项目数：1~2 项。

任务属性：重大共性关键技术。

有关说明：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 1: 1。

## 2.2 发酵法生产功能性营养化学品关键技术

研究内容：针对典型功能性营养化学品绿色生产的重大需求，开发高效生物合成平台技术。进行生物合成元件挖掘、途径构建与优化研究；研究生物元件、途径、细胞及环境的适配机制，开发代谢驱动力强化新技术及基因表达自主动态控制系统，实现物质流能量流的定向控制，提高合成效率；针对复杂长途径的营养化学品，研究多基因调控及多酶适配、细胞间物质信息交流互作机制，建立人工细胞工厂合成体系；建立发酵与分离纯化集成技术，推动功能化学品制造技术的绿色转型。

考核指标：（1）在国家食品菌种目录所列菌种范围内，构建包括氨基葡萄糖、肌醇、维生素 B6、维生素 E、麦角硫因等在内的 10 种以上可通过发酵法生产的营养化学品的全生物合成途径，其中氨基葡萄糖发酵水平 $\geq 120\text{ g/L}$ ，糖转化率 $\geq 0.4\text{ g/g}$ ，肌醇发酵水平 $\geq 120\text{ g/L}$ ，碳收率 $\geq 0.7\text{g/g}$ ，维生素 B6 发酵水平 $\geq 10\text{ g/L}$ ，

维生素 E 发酵水平  $\geq 5$  g/L, 麦角硫因发酵水平  $\geq 5$  g/L (以上指标需在中期评估前完成); (2) 至少 3 种相关功能性营养化学品建立工业生产装置, 其中肌醇建立千吨级全生物合成生产线, 氨基葡萄糖建立百吨级生产线, 维生素 B6 建立百吨级生产线。

拟支持项目数: 3 项。

任务属性: 重大共性关键技术。

有关说明: 本任务拟采用“赛马”机制遴选优势单位, 启动立项 3 项, 实行中期评估淘汰制, 最后只支持 1 个项目。

### 2.3 绿色工业酶催化合成营养化学品关键技术

研究内容: 以建立高附加值营养学品的绿色合成技术、替代传统化学合成路线为目标, 开展工业酶催化合成营养化学品相关研究。重点针对乳制品、婴幼儿奶粉中的重要营养化学品, 开发具有自主知识产权的高效工业酶催化剂。开展酶的工程学改造和固定化技术研究, 提高工业操作条件下生物催化剂的活性和稳定性。研究多酶耦联或级联催化技术, 减少副产物合成, 提升底物转化率和产物得率。研究无溶剂的酶催化技术和新型酶反应器, 减少挥发性有毒有害有机溶剂的使用, 实现更安全的生产工艺。建立重要营养化学品百吨级到千吨级的工业生产示范。

考核指标: 获得 3~5 种支撑乳制品和婴幼儿奶粉中营养化学品高效合成的具有自主知识产权的工业酶催化剂, 如糖基转移酶、糖异构化酶、脂肪酶等; 建立人乳寡糖、D-阿洛酮糖、高纯度 DHA 甘油三酯等 3~5 种营养化学品的多酶偶联/级联或无溶剂酶

法合成工艺。开发 10 种以上人乳中含量较高的寡糖化合物的酶催化制备工艺，均完成公斤级以上中试验证，其中 5 种以上完成新食品原料申报。高纯度 DHA 甘油三酯、D-阿洛酮糖等产品实现年产千吨级工业示范，其中酶法合成的 DHA 甘油三酯含量大于 90%，DHA 含量大于 85%，收率不低于 80%；固定化 D-阿洛酮糖 3-差向异构酶的稳定重复使用大于 500 批次，D-阿洛酮糖和联产副产物葡萄糖酸的总收率不低于 80%。

拟支持项目数：1~2 项。

任务属性：重大共性关键技术。

有关说明：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 1: 1。

## 2.4 畜禽绿色抗炎抗病增效产品制造

研究内容：建立基于多组学及生物信息学的消化道微生物代谢产物、宿主中间代谢物的高通量筛选平台，在土著益生菌等表达系统中重构或优化肠道菌群代谢产物或宿主中间代谢物的代谢流，实现具有抗炎抗病功能的肠道微生物代谢产物（丁酸等有机酸、吲哚衍生物等调节小分子）、宿主中间代谢物（ $\gamma$ -氨基丁酸、N-氨甲酰谷氨酸等）、高活性抗氧化物质（ $\beta$ -胡萝卜素、虾青素、视黄酸等）的定向高效转化和生产；基于基因簇重构、前体物合成、合成酶高效表达等活性蛋白和肽生产关键技术，实现抗菌蛋白或肽（LPS 降解酶、Octapeptin C4 等）表达和底盘菌生长的协同，实现上述活性蛋白或肽的高效持续表达；建立基于激活关键

营养代谢或免疫抗病信号通路以改善肠道微环境为靶标的新型益生元筛选平台，实现宿主靶向型饲用益生元的精准设计与开发；研发上述抗炎抗病增效物质在畜禽水产养殖中的应用技术。

考核指标：建立畜禽肠道微生物代谢产物和宿主中间代谢物的高通量编辑筛选平台；研制具有抗炎抗病增效功能的肠道微生物代谢产物和宿主中间代谢物产品 8~10 种、抗菌肽产品 3~5 种、高活性抗氧化剂产品 4~5 种，宿主靶向型免疫激活剂 3~5 种；吡啶酸、 $\gamma$ -氨基丁酸、N-氨甲酰谷氨酸产量达 0.5~3g/L，LPS 降解酶、Octapeptin C4、Thiopeptides、Microcin C7 等抗菌蛋白或抗菌肽产量达 1~3g/L， $\beta$ -胡萝卜素、虾青素、视黄酸的产量达 0.5~4g/L；建立生产线 2~3 条，其中吡啶酸、 $\gamma$ -氨基丁酸、N-氨甲酰谷氨酸、 $\beta$ -胡萝卜素、虾青素等产品实现产业化生产，生产规模达 10~1000 吨；开发应用技术 15 项以上，养殖发病率降低 5%以上，饲料转化效率提高 5%以上；申请或授权国家发明专利 8 件以上。

拟支持项目数：1~2 项。

任务属性：重大共性关键技术。

有关说明：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 1:1。

### **3. 绿色生物过程关键技术及示范**

#### **3.1 生物制造产品膜分离关键技术及装备**

研究内容：针对生物合成产品高效分离纯化的应用需求，研究高效率膜分离技术，设计并建立高效膜分离纯化工艺，实

现生物合成产品分离的连续化、规模化过程。重点研究生物反应体系复杂物质与膜材料的互作机制，揭示生物发酵/酶催化—膜分离耦合匹配规律，研制抗微生物污染、抗蛋白吸附、耐溶剂、生物相容性好的膜分离材料；研究生物合成天麻素、红景天苷、虫草素等天然产物的发酵液净化过程，开发高通量、长期稳定运行的膜分离工艺，建成高纯度、高收率的膜分离纯化成套装备；研究寡糖、多肽等生物活性物质与膜材料的界面相互作用及外场强化机制，开发生物活性物质分子量分布的精确控制技术，形成高效分级纯化工艺；开发膜技术耦合工艺，建立生物制造产品的膜材料设计、膜分离工艺开发、膜过程装备集成技术，形成应用示范。

考核指标：研制开发 5 种以上高性能分离膜材料，抗污染膜材料对蛋白吸附量  $\leq 1\text{mg/g}$ ，膜孔径分布系数  $\leq 1.15$ ；创制 5 种以上的高效膜分离技术，浓缩过程分离效率  $\geq 99\%$ ，其中寡糖分子量分布系数 ( $D=M_w/M_n$ )  $\leq 1.4$ ；研制生物制造—膜分离装备  $\geq 2$  套，其中在天麻素、寡糖、多肽等千吨级反应液处理中实现连续化运行，运行考核时间  $\geq 1$  个月，目标产品收率  $\geq 80\%$ ，产品纯度达到  $\geq 99\%$ ；建立 2 种生物产品高效分离的生产应用示范。

拟支持项目数：1~2 项。

任务属性：重大共性关键技术。

有关说明：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 1: 1。

### 3.2 油田采油生物制剂研发及应用

研究内容：针对油田开发过程中化学驱油工艺面临的效率低、耗能高和环境污染等问题，研制以生物表面活性剂、生物聚合物和生物酶为核心的生物采油关键技术及工程应用体系。阐明生物制剂与油藏环境的互作机制，开发适应恶劣地质条件和油藏环境的高活性专用生物制剂，建立生物制剂高效制备技术规模应用工艺；开展生物聚合物结构与功能研究，通过菌株选育和构建，结合糖链化学修饰，开发高应用属性的、具有新分子结构的聚合物和生产工艺；针对我国高温高盐及高含水油藏的特点，开展生物采油制剂的技术综合应用研究，发展绿色驱油工程技术体系，推进在油田的示范应用。

考核指标：开发 3~4 种生物表面活性剂和 3~4 个具有不同分子结构的油田专用聚合物并实现规模化生产；相关制剂耐温高于 80°C、耐盐大于 50000mg/L，耐钙镁离子高于 1000mg/L；表面活性剂实现万吨/年产业化示范，专用聚合物耐温、耐盐和粘度等指标较原产品提高 20%；开发 2~3 种酶制剂用于油井解堵、压裂液破胶处理及清防蜡等，耐温高于 80°C；建立 3~5 种高温高盐及高含水油藏高采收率的绿色驱油体系，在不少于两个不同类型油田完成规模试验，增加原油产量 50 万吨以上，提高采收率 7%以上，减少化学驱油剂用量 80%，减少油井采出液后续处理药剂和能耗 50%以上。

拟支持项目数：1~2 项。

任务属性：重大共性关键技术。

有关说明：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 1: 1。

### 3.3 冶金生物关键技术开发及应用

研究内容：针对我国有色金属行业能耗高、污染严重等问题，开展高效生物冶金技术研发和示范。挖掘耐受有机污染物、氟离子、氯离子、重金属等毒性因子的嗜酸、嗜热菌种，解析微生物—矿物界面识别、吸附及相互作用的分子机制，建立冶金微生物菌群核心功能菌种快速识别方法，以及高效冶金菌种高通量筛选技术；发掘生物膜形成关键活性位点，揭示生物膜形成、介导或生物浸出机制，发展耐毒、嗜热冶金微生物菌群人工合成和生物膜快速构建新策略，提升极端条件下生物—矿物反应速度；设计研发中高温生物浸出的低剪切、高气体分散反应器，解析冶金生物反应体系内气液传质特性，形成适合嗜热微生物高效作用的技术体系；研究生物原位浸矿及生物浸堆结构的气液分布规律和温度场效应及其对菌群分布的影响，建立耐毒嗜热菌群生长调控的方法，开发离子型稀土矿微生物强化原位绿色开采新工艺以及难处理、低品位原生硫化矿高效生物堆浸工艺，发展基于复杂低品位溶液中多金属高效绿色分离新技术；建立冶金生物反应工程设计方案数据库，最终形成高效生物冶金新工艺，建立相应的冶金生物技术产业化示范。

考核指标：筛选驯化耐受有机污染物、氟离子、氯离子及重

金属的嗜酸、嗜热高效冶金微生物菌种 100 株以上，开发用于离子型稀土矿、难处理原生硫化铜矿、高氟铀矿、高砷高硫金矿等的冶金微生物菌群 4~6 个，建立冶金微生物菌种和微生物组数据库 1 个；研制嗜热菌专用的生物冶金装置；建立冶金生物反应工程设计方案数据库；建立千吨级离子型稀土矿微生物强化原位绿色开采中试线；选择铜、金、锌等重要有色金属 2~3 种，建立规模不低于 50000 吨矿/堆的高效生物堆浸或原位浸出工程示范，与传统工艺相比，生物冶金直接成本降低 15%以上，有毒有害化学药剂使用量减少 50%以上，化石能源碳消耗减少 30%以上，金属回收率提高 25%以上；建立不低于 1000 吨矿/年的中高温生物槽浸工程示范，金属回收率 93%以上，废气排放减少 60%以上。

拟支持项目数：1~2 项。

任务属性：重大共性关键技术。

有关说明：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 1: 1。

### **3.4 医药生物制造绿色过程系统集成及产业示范**

研究内容：围绕生物技术在医药领域的广泛应用，以及未来生物产业新模式，推进基于生物制造的医药工业系统集成及绿色工业园区示范。研究生物制造过程中标准通用模块、关键技术和工艺，重构医药产品生物制造新技术路线。建立数字化生物制造过程，构建实时检测、在线过程分析、以及自动化控制系统系统，建立实时检测生产过程关键参数（如主要组分含量等）、实时反馈

调控优化以及在线质量监测和产品预测等自动化控制技术，实现园区产业数字化转型。研究大品种药物生物制造源头减碳、过程减碳以及资源高效循环利用协同优化路径，建立典型生物制造过程废渣、废水资源化利用新技术，通过生物制造过程系统集成与废物资源化利用有机协同，实现园区资源整合、废物套用和资源化利用，形成绿色生物制造产业链协同与应用示范。

考核指标:建成 1~2 个基于生物制造的绿色园区全景数据库，完成 5~10 个大品种药物生产过程的全生态分析，建立 30 种以上标准通用模块、关键技术和工艺，重构 5 种以上重要药物绿色生物制造新技术路线；建立全园区智能管控体系，开发相应的生产过程关键参数检测、实时调控优化、以及在线质量监测和产品预测等自动化技术、在线分析仪器和控制系统；建立 5 种以上生物制造过程源头减碳、过程减碳新方法，开发 3~5 种生物制造过程废物循环与资源化利用共性关键技术，实现园区全资源循环利用。绿色生物制造产业链协同创新技术在省级以上工业园区实现应用示范，重大产品竞争力进一步增强，园区产业产值规模达到 500 亿元以上，通过项目的实施使得能源效率和资源利用效率得到明显提升，化石能源碳排放减少 30%，三废排放减少 50%以上。

拟支持项目数：1~2 项。

任务属性：应用示范研究。

有关说明：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 3: 1。

### 3.5 生物造纸技术及产业示范

研究内容：针对造纸行业高污染、高能耗、高排放等问题，开展高效生物法造纸技术研发及示范。围绕当前酶制剂产品难以满足造纸工业原料种类多、木质纤维素结构复杂、高温高碱等要求的现状，通过酶分子改造等技术，获得性能和酶系符合造纸工艺要求的新型高效酶品种。研究影响酶生产过程中的关键工艺因素和过程调控，确定最佳产酶过程控制工艺，通过发酵与分离工艺优化等技术，降低生物造纸用酶的生产与应用成本。针对生物制浆、生物漂白、酶法脱墨、酶脱胶粘物、酶促打浆等造纸原料、工艺及环境复杂性，优化获得最优复合酶组合制备高效复合酶制剂，进一步优化获得最优酶应用工艺，实现造纸工业的绿色低成本生产。研究生物造纸副产物木质素工程化制备功能分散、抗紫外材料关键技术与工艺，推进造纸原料全组分利用和减排。

考核指标：建立耐高温（高碱）的造纸酶品种的生产流程数学模型，形成液体发酵优化平台数据库，实现新型造纸酶的产业化生产；获得优良造纸酶保护剂和防腐剂 5~8 种；建立造纸专用酶的酶学性质数据库，开发新型单酶 5~8 种和复合酶制剂 10~12 种，开发新型生物复合酶法制备淀粉胶及酶法脱墨工艺，纸浆白度提高 6%ISO，纸浆强度提高 15%以上；最终各种化学品用量累计减少 70%以上，能耗减少 30%以上，实现废水零排放；建成单线产能 20 万吨以上的浆纸生物加工示范生产线，开发木质素功能分散、抗紫外材料，并建设吨级规模示范线，实现产业化推广。

拟支持项目数：1~2 项。

任务属性：应用示范研究。

有关说明：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 3: 1。

杭州电子科技大学 qinyj