

题目编号：LY-202619

# 高效催化定向转化：己内酰胺产业链中 副产 APU 油有机物高值绿色回收 及综合工艺包设计比赛方案

## 一、发榜单位

企业名称：福建省恒申化工科技有限公司

企业类型：民营企业

企业地址：福建省连江县可门工业园区松岐大道

## 二、题目名称

高效催化定向转化：己内酰胺产业链中副产 APU 油有机物  
高值绿色回收及综合工艺包设计

## 三、题目介绍

### （一） 题目背景

#### 1. 题目综论

本选题核心围绕己内酰胺产业链副产 APU 油展开，聚焦高效催化定向转化、高值绿色回收、成套工艺包设计三大核心方向，是兼具化工理论创新、催化技术突破与产业工程落地价值的工科类研究选题，具体如下：

研究对象：以己内酰胺（CPL）生产、精制与聚合全流程副产的 APU 油为核心研究对象，主要成分为己内酰胺环状二聚

体、线性低聚物、寡聚物及少量残留单体与杂质，区别于常规化工废料，属于高潜在价值、难处理、量大面广的典型化工副产资源，研究侧重催化解聚、定向转化、绿色回收、高值利用的资源化闭环利用路径。

核心研究内容：一是高效催化体系研发，针对 APU 油中低聚物结构稳定、解聚难度大、选择性差、现有催化剂效率低等行业痛点，研发高活性、高选择性、长寿命、低成本的专用催化材料，实现低聚物定向转化为己内酰胺单体等高附加值化学品；二是高值绿色回收与综合工艺包设计，基于高效催化技术，构建集“预处理-催化转化-分离提纯-产品精制-三废治理”于一体的全流程工艺，形成可工业化落地的成套工艺包，解决当前 APU 油处置方式粗放、资源利用率低、环保压力大、经济性差等关键问题。

研究意义：理论层面，完善 APU 油体系纯化、己内酰胺低聚物催化解聚机理与分子定向转化理论体系，填补 APU 油副产高值化利用领域的催化与工艺空白；实践层面，替代焚烧、简单回用等传统处置路线，实现资源循环利用、降本增效、低碳减排三重效益，破解己内酰胺产业链“副产量大、利用率低、环保成本高”的行业共性痛点，助力尼龙 6 产业链绿色低碳转型与高质量发展，具备极强的产业应用价值与战略意义。

## 2. 研究的重要性与必要性

行业发展必要：2025 年我国己内酰胺产能超 800 万吨，占

全球 60%以上。按行业平均副产率 5%–8%估算，我国年副产 APU 油 30 万-90 万吨，是全球最大的副产来源国。APU 油已成为制约行业提质增效、绿色升级的关键瓶颈，开展高效回收利用是保障产业链安全、提升全球竞争力的必需举措。

资源利用必要：APU 油富含可回收有机组分与己内酰胺单体资源，传统焚烧或低效处置造成巨大资源浪费，开展高值化回收是落实循环经济、提升原子利用率、实现“变废为宝”的必要路径。

绿色低碳刚需：传统焚烧产生大量 CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟尘，环保压力与碳排放量巨大。本研究以绿色催化、闭环回收替代焚烧，从源头减污降碳，是化工行业践行双碳战略、建设绿色工厂的刚需技术。

经济效益关键：德国巴斯夫、荷兰 DSM、日本宇部等国际巨头已实现聚酰胺高效回收，在副产处理上形成明显技术优势，而国内企业仍依赖低效处置。突破催化与工艺瓶颈，可大幅降低生产成本、创造增量收益，是提升企业盈利水平与行业整体效益的关键支撑。

技术突破紧迫：国内现有技术存在回收率低、选择性差、工艺不成熟、无成套化方案等短板，与国际先进水平差距明显。加快研发高效催化定向转化技术，是打破国外垄断、实现自主可控的紧迫任务。

## （二）目标介绍

本课题面向己内酰胺产业链绿色低碳转型的核心需求，以 APU 油高值资源化利用为出发点，聚焦催化技术创新与成套工艺集成，设定以下四个层级的研究目标，形成由基础研究到工程落地的全链条攻关体系：

### （1）总体目标

突破 APU 油高效催化定向转化关键技术瓶颈，研发具有自主知识产权的高性能专用催化材料，构建集预处理、催化转化、分离提纯、产品精制与三废治理于一体的成套绿色工艺包，实现 APU 油中有机物的高值化、低碳化、可工业化规模回收利用，最终推动己内酰胺产业链副产资源从"弃置焚烧"到"绿色闭环"的根本性转变。

### （2）技术研发目标

高效专用催化体系开发：针对 APU 油中己内酰胺环状二聚体、线性低聚物及寡聚物等结构复杂、解聚壁垒高的特点，设计并合成高活性、高选择性、长寿命、低成本的新型催化剂，稳定运行周期 $\geq 500$  小时，可实现低聚物定向转化为高附加值己内酰胺单体或其他高价值化学品。

分离提纯与产品精制工艺开发：建立与催化转化单元高效耦合的分离提纯体系，攻克复杂有机混合物的精细分离与杂质脱除难题，确保产品质量达到工业级标准，产品销售价格不低于制造成本的 150%，APU 油有机物综合回收率 $\geq 25\%$ （以质量计）。

三废治理与绿色化工艺路线设计：针对催化转化过程中产生的废气、废液、废渣，开发集成化的三废处理单元，确保排放全面达到国家相关标准，废水实现循环回用，废渣无害化处置，废气有组织排放。

### （3）工程化与工艺包设计目标

在技术研发成果基础上，完成工程放大研究，形成具备可操作性、可复制性与可推广性的成套工艺包。工艺包应包含完整的工艺说明书、工艺流程图（PFD）、工艺物料平衡表、公用工程消耗平衡（UFD）、主要设备选型及结构图、关键控制指标体系等内容，为工业化装置设计与建设提供全套技术依据，支撑 10000~50000 吨/年规模的工业化示范装置建设。

### （4）知识产权与成果产出目标

形成具有自主知识产权的核心技术体系，完成工艺包 1 份和技术经济可行性分析报告 1 份。通过赛事平台，推动研究成果向产业化落地转化，为发榜单位恒申化工提供可直接导入的工程技术解决方案。

## （三）选题意义

本选题锚定己内酰胺产业链副产资源化利用率低、高值化技术匮乏、绿色化转型滞后的行业核心痛点，聚焦高效催化、定向解聚、绿色回收、成套工艺关键技术攻关，紧扣化工新材料产业高质量发展与循环经济现实需求，技术意义兼具前沿突破价值与产业支撑价值，具体体现在四大维度：

1.突破行业技术瓶颈，补齐高端化工循环利用短板。当前己内酰胺副产 APU 油处置长期依赖焚烧或简单回用，高效催化解聚、高选择性分离、低成本规模化回收等核心技术被国际巨头垄断。本研究通过新型催化体系设计与全流程工艺创新，攻克低聚物难解聚、解聚选择性差、回收效率偏低、三废难治理等关键技术难题，填补国内 APU 油高值绿色回收成套技术空白，摆脱高端尼龙产业链副产利用对外技术依赖，掌握自主可控核心技术。

2.引领绿色化工技术范式创新，完善催化转化理论体系。本研究着力构建“催化转化-分离提纯-产品精制-资源闭环”理论与技术框架，推动化工副产利用从物理分离、焚烧处置向催化定向转化、原子高效利用升级，丰富绿色催化、高分子循环利用领域理论体系，为化工行业高盐、高沸、复杂有机副产资源化提供理论支撑与方法学借鉴。

3.打通“副产-原料-产品”闭环链条，提升产业链现代化水平。针对己内酰胺生产-精制-聚合全流程副产无高效利用路径的痛点，构建原料无害化、催化高效化、分离精细化、产品高值化、工艺集成化的成套技术方案，形成可复制、可推广的工艺包，打通副产变原料、废料变产品的关键堵点，推动己内酰胺产业链从线性生产模式转向循环经济模式，提升产业链稳定性、竞争力与可持续发展能力。

4.支撑化工行业绿色低碳转型，助力新质生产力培育。以催

化技术创新替代传统高耗能、高排放处置路线，实现减污、降碳、增效协同，推动化工制造向绿色化、智能化、高端化迈进，为石油化工、精细化工、化纤新材料等领域副产高值化利用提供示范路径，加速行业绿色低碳技术迭代，助力新材料领域新质生产力形成与发展。

值得关注的是，该技术方向与发榜单位恒申集团及旗下福建省恒申化工科技有限公司的发展战略高度匹配。作为全球领先的己内酰胺及聚酰胺一体化生产企业，恒申集团持续面临副产物绿色处置与产业升级的压力。本研究直接针对企业生产中的现实痛点，有望为其提供降本增效与循环转型的系统解决方案。一旦成功应用，不仅能强化产业链内部的资源协同与安全稳定，也将显著提升企业的绿色制造水平与行业竞争力，助力其实现可持续发展目标。

本课题的技术攻关预期将取得显著的经济社会效益。在社会与战略层面，其成功实施有望打破国际化工巨头在高端尼龙回收领域的技术垄断，为我国从“己内酰胺生产大国”迈向“尼龙产业链技术强国”提供关键支撑。在经济效益层面，通过将副产 APU 油高效转化为高价值己内酰胺产品，替代传统焚烧处置，大幅降低环保处理费用与碳排放成本，可直接为相关企业创造可观的增量产值与利润，其优异的经济性将驱动技术快速产业化，形成显著的先发市场优势。在生态效益层面，该技术从根本上变革了行业“资源-废弃”的线性模式，从源头替代焚

烧路线，大幅削减 CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟尘及危废产生量，显著降低环境负荷与碳足迹。同时实现资源循环高效利用，提升原子经济性，契合循环经济、绿色化学、碳中和国家战略，推动化工企业建设绿色工厂、低碳园区、零废制造，为我国化工行业绿色低碳转型提供典型示范，助力“双碳”目标落地。它不仅提升了我国尼龙产业在全球价值链中的位置与话语权，更通过强化关键原材料的自主保障能力，为下游纺织、汽车、电子等国家支柱产业的供应链安全与高质量发展提供了坚实支撑，具有深远的战略性意义。

#### **四、参赛对象**

##### **学生赛道**

2026 年 6 月 1 日以前正式注册的国内全日制非成人教育的普通高等学校在校专科生、本科生、硕士和博士研究生（不含在职研究生），以及全日制职业教育本科、高职高专在校学生，可通过学生赛道申报作品参赛。

高校青年教师在指导学生参赛的同时不得以参赛人员身份参加同一选题比赛。发榜单位及同发榜单位有相关隶属关系单位的青年不得参加本单位选题比赛。

参赛对象可以团队或个人形式参赛，每个团队不超过 10 人，每件作品可由不超过 3 名指导教师进行指导。可以跨专业、跨学校、跨单位、跨地域组队，但同一团队所有成员均应符合本赛道相关年龄、身份要求。每件作品只可由 1



所高等院校、科研院所或企业等作为参赛主体提交申报。

参赛对象及团队需要通过发榜单位的资格审查及成果确认，且必须对发榜单位的相关技术信息保密。

## 五、答题要求

本次选题为化工与新材料科研攻关类选题，参赛团队需围绕 APU 油高效催化定向转化、有机物高值绿色回收及成套工艺包设计核心方向完成全流程研发攻关，提交全套电子技术成果材料，材料需真实、完整、可落地、无空泛理论表述，具体提交成果形式及内容要求如下：

1.核心技术研究报告（PDF 格式，正文不少于 8000 字）为核心成果材料，需系统阐述研发攻关全流程，核心包含：行业背景与 APU 油处置痛点分析、高效回收体系设计思路、分离提纯方案、三废处理工艺设计、技术经济可行性分析；报告需附实验数据或模拟数据、工艺流程图等佐证材料，数据真实可追溯，明确刚性指标（有机物回收率 $\geq 25\%$ 、产品销售价格不低于制造成本 150%）。

2.实验与模拟数据报表（Excel 格式），需单独梳理量化数据，至少分为两个子表：催化反应分离实验数据表、工艺流程模拟物料平衡表；所有数据需标注实验设备、分析方法、模拟软件及版本。

3.成套工艺设计方案集（PDF 格式），需形成可工业化落地的综合工艺包，内容包含：主要工艺说明、主要控制指

标、工艺流程图（PFD）、工艺物料平衡表、公用工程消耗平衡（UFD）、主要设备结构图等内容。

4. 催化剂研发与评价报告（PDF 格式，可选），需完整提供催化剂全套技术资料：催化剂配方/市售来源、制备工艺、结构表征数据（XRD、FT-IR、BET、SEM 等）、催化活性与稳定性评价结果、催化剂样品 5g。

5. 技术经济分析报告（PDF 格式）以吨产品为基准开展系统经济性核算：产品应为可直接市场销售的产品，产品销售价格不低于制造成本的 150%，APU 油原料按 0 元计价，不考虑固定资产折旧与财务费用。

说明：项目初始时根据市场价格，锁定产品、原料、辅料、水、电、气等价格；原料 APU 油按 0 元计；制造成本指生产过程的可变成本，包括制造过程中消耗的各种原材料、公用工程以及三废处理费用，暂不考虑产品的固定成本，如生产设施的折旧、财务费用、人工费、研发投入、市场开发等。

6. 辅助研究成果材料（PDF 格式，可选）包括高水平学术论文初稿、专利交底材料、行业调研分析报告、产业链绿色低碳效益分析报告等，作为核心成果的补充佐证。

通用要求：材料排版规范，无错别字、格式错乱，所有引用内容需标注出处；参赛团队需对成果的原创性负责，严禁抄袭、盗用他人研究成果

## 六、作品评选标准

本次评选遵循公平公正、量化为主、技术导向、落地优先的原则，围绕选题核心研究方向（转化产品、工艺包应用）及参赛作品要求，从实验或模拟数据、工艺设计方案质量、催化剂、技术经济分析报告等四个维度进行综合评分。核心刚性指标未达标将按规则扣除对应分值，部分核心指标未达标视为作品不合格，具体评分标准如下：

### 1. 实验或模拟数据（15分）

本维度聚焦作品理论基础，考察参赛团队在有机物高值绿色回收的基础性理论及实验研究的攻关成果，所有数据应真实有效，若有明显夸大数据则本维度记为0分，若流程或数据显著与现实不符，本维度记为0分。

1.1 实验合理性或模拟流程可行性（10分），聚焦实验或模拟流程的全流程，考察APU油应用的合理性或可行性。显著合理或可行计8-10分，方案因技术原因放大困难计5-7分，方案使用的技术或原料无法投入生产计1-4分，方案显著不适合APU油，作品计0分。

1.2 数据结果合理性（5分），聚焦实验或模拟流程的具体数据，考察APU油应用的合理性或可行性。显著合理计4-5分，数据夸大计2-3分，数据显著存在矛盾或有机物回收率 $\leq 15\%$ 计0-1分，其中，数据明显夸大，本维度计0分。

## 2. 工艺设计方案质量（35 分）

本维度聚焦作品工艺包，考察参赛团队从实验和流程在工艺技术放大的研究成果，流程结果应经过模拟软件模拟，应包含三废的基本处理流程或去向，若工艺包显著无法实现则本维度记为 0 分，若工艺包与试验或模拟数据显著不符，作品记为 0 份。

2.1 工艺可行性（10 分），关注工艺是否可以在工业上实施，考察 APU 油工业处理的可行性。根据实验或模拟数据及工业经验显著可行，计 8-10 分，工艺包用于详细设计困难的，根据程度计 3-7 分，工艺包缺少足够数据而无法用于详细设计的，本维度计 0 分。

2.2 方案完整度（20 分），关注工艺包的完整性。详细完整地包含成套工艺设计方案集的计 9-10 分，完整但许多参数不详细的计 5-8 分，不包含三废的处理基本流程或去向的计 2-4 分，缺少成套工艺设计方案集列出的某项文件的，计 0 分。

2.3 技术创新性（5 分），根据方案整体的逻辑、创新等方面，对作品进行考察，按程度计 0-5 分。

## 3. 催化剂(30 分)

从核心维度催化剂进行考核，包括催化剂性能、催化剂表征、以及催化剂制备。

3.1 报告中催化剂性能(10 分)，有机物回收率 $\geq 25\%$ 计

8-10 分， $0\% \leq \text{有机物回收率} \leq 25\%$ ，按程度计分。

3.2 催化剂表征数据及结果（15 分），根据完整程度计 0-15 分。

3.3 催化剂合成配方及制作方法或市售途径（5 分），合成催化剂合成配方及制作方法完整的计 3-5 分，市售催化剂根据催化剂改性及反应条件优化计 1-5 分。

#### 4. 技术经济分析报告(20 分)

本维度考察方案的经济性及可行性，从报告完整度及经济效益两个方向考察。项目收益过低的，本维度计为 0 分。

4.1 报告完整度(10 分)，包含生产过程的可变成本的详细计算，完整且数据合适的计 8-10 分，不完整或数据夸张的按程度计 0-7 分。

4.2 经济效益符合要求(10 分)，产品销售价格高于制造成本的 150%的计 8-10 分，产品销售价格是制造成本的 120-150%的计 5-7 分，产品销售价格低于制造成本的 120%的计 0 分。

### 七、作品提交时间

2026 年 5 月至 9 月上旬，各参赛团队选择榜单中的题目开展研发攻关，各高校、企业、科研机构等组织协调机构应组织学生和青年科技工作者参赛，安排专业人员给予指导，为参赛团队提供支持保障。

2026 年 9 月 15 日前，各参赛团队要向发榜单位完成作品提

交，具体要求详见本方案第八点第（二）款，并严格遵照发榜单位明确的提交规范执行。

2026 年 9 月 30 日前，由发榜单位完成初审，确定入围终审擂台赛的晋级作品和团队。

2026 年 10 月，发榜单位安排专门团队提供帮助和指导，各晋级团队完善作品。

2026 年 11 月，组织终审擂台赛，角逐“擂主”。

## **八、参赛报名及作品提交方式**

### **（一）报名方式**

（1）参赛选手登录“挑战杯”官网 [www.tiaozhanbei.net](http://www.tiaozhanbei.net)，在“揭榜挂帅”擂台赛报名入口注册账号，登录大赛申报系统在线填写报名信息。报名信息提交后，下载打印系统生成的报名表。

（2）申报人在报名表对应位置加盖所在学校或所在单位公章。

（3）将盖章版报名表扫描件上传至报名系统，等待系统审核。请参赛选手注意查看审核状态，如审核不通过，需重新提交。

（4）系统开放报名时间为 2026 年 5 月 30 日—6 月 30 日，逾期后系统将自动关闭报名功能。

### **（二）作品提交方式**

申报作品和 1 份经报名系统审核通过的参赛报名表统一打

包压缩提交至大赛申报系统，同步发送至邮箱 [zhiyong.liu@hsc.com](mailto:zhiyong.liu@hsc.com)，压缩包命名方式为：申报人所在单位-申报人姓名-作品名称-联系电话(例如:XX 大学-张 XX-XX 方案-手机号)。报名表所有信息须与系统内填报内容完全一致。

催化剂样品寄送至：福建省连江县坑园镇红下村松岐大道 1 号福建省恒申化工科技有限公司。收件人：柳智勇，联系方式：18016330092。

## 九、赛事保障

1. 根据参赛团队需求,提供必要的 APU 油相关技术信息及资料。

2. 根据参赛团队需求，安排人员进行技术交流。

## 十、设奖情况及奖励措施

### 1. 设奖情况

1 个“擂主”，特等奖 5 个，一、二、三等奖各 5 个

最终授奖数量可根据作品申报数量和质量，报大赛组委会同意后动态调整。

### 2. 奖励措施

擂主：奖金 10 万元/个，

特等奖：奖金 2 万元/个

一等奖：奖金 1 万元/个

二等奖：奖金 0.5 万元/个

三等奖：奖金 0.2 万元/个

### 3. 奖金发放方式

比赛结束后，单位比赛专班工作人员与获奖团队取得联系，确认参赛团队获奖资格，并完成保密协议及研究成果限制转让第三方的书面协议后，待获奖团队提供银行卡详细信息后 1 个季度内，将奖金一次性发放至获奖团队提供的银行卡中。

## 十一、比赛专班联系方式

### 1. 专家指导团队

顾问专家：柳老师，联系电话：18016330092

### 2. 赛事服务团队

联络专员：林老师，联系电话：17850809310

### 3. 联系时间

比赛期间工作日（9:00-17:00）

### 4. 申报联系人

姓名：王芳，职务：主管，联系电话：18606027692

微信号：WFanghappyeveryday，邮箱：fang.wang@hscs.com



## 附：发榜单位简介

恒申集团创立于 1984 年，坚守“三代人只做一件事”的初心，从一根尼龙绳起步发展成为集化工、化纤、新材料为一体的大型现代化跨国企业集团，是全球最大的己内酰胺生产商。已在全球建立起以福建福州为中心，辐射江苏南京、荷兰马斯特里赫特、广东新会的四大产业基地，拥有 31 个制造中心，业务覆盖 60 多个国家及地区。位列 2025 中国企业 500 强第 245 位，2025 中国民营企业 500 强第 93 位，福建民营企业 100 强第 4 位，年产值达 1069 亿，集团员工 14000 人+，是国家智能制造示范工厂，国家工信部绿色工厂，国家制造业单项冠军示范企业。化工板块以己内酰胺和硫酸铵业务为中心，拥有申远新材料、申马新材料等 20 家子公司，其中上市公司 1 家。目前已建成全球最大的己内酰胺生产基地，并向上下游产业延伸，完整布局锦纶 6 八道产业链。产品广泛应用于纺丝、工塑、薄膜等领域，产品范围辐射亚洲、美洲、欧洲等 38 余个国家和地区。

福建省恒申化工科技有限公司是恒申集团旗下主要从事科技推广、新型催化剂材料及助剂销售等研发工作的公司，成立于 2023 年，注册资本 1000 万元。