

暨南大学“纳米智造”交叉培育联合项目指南

纳米技术作为 21 世纪颠覆性创新的核心引擎，其本质在于原子/分子尺度的精准操控能力，这种介观尺度的独特效应突破了经典物理与化学的边界，催生了革命性材料与器件。当前全球 960 个显著科研方向中，高达 89% 涉及纳米科技的应用或理论基础，其影响力已深度渗透信息技术、生物医药、能源环境、先进制造及电子科学五大领域：量子点显示技术实现超宽色域覆盖，二维材料推动晶体管进入亚 5 纳米制程；脂质体纳米载药系统攻克血脑屏障递送难题，金纳米棒光热疗法实现肿瘤精准消融；钙钛矿纳米晶将光伏效率提升至 25% 以上，MOF 纳米吸附剂使二氧化碳捕获效率增长千倍。然而，技术爆发式增长背后潜伏着结构性挑战。核心瓶颈之一在于多尺度结构-性能关联机制的断裂。纳米材料的力学强度、量子限域效应引发的光学带隙偏移、表面等离子体共振频率等特性，均强烈依赖于尺寸分布、晶面取向、位错密度等微观参量。尽管原位电镜与机器学习模拟已实现单原子观测，但埃米至微米尺度的普适定量模型缺失，导致定向设计仍依赖试错。另一系统性风险源自纳米生物环境交互机制的认知空白。当物质尺度降至 100 nm 以下，其比表面积呈指数级增长，导致表面原子活性激增并引发独特生物效应：二氧化钛纳米颗粒在紫外光照下产生活性氧强度较体材料高 50 倍，可穿透细胞膜

诱发 DNA 氧化损伤；碳纳米管因高长径比引发石棉样炎症反应，动物实验显示肺部沉积率超 60%。更严峻的是，纳米颗粒在生态链中的迁移呈现复杂非线性特征——研究表明，银纳米颗粒在水体中经 48 小时可被藻类富集 10^4 倍，并通过浮游动物向鱼类传递，最终在肝细胞中检测到离子银释放引发的线粒体凋亡。尽管 OECD 制定 35 项评估指南，但对长期低剂量遗传毒性（如氧化锌对斑马鱼胚胎的跨代影响）、生物降解动力学及生态放大效应仍缺乏系统研究，致使欧盟 REACH 法规滞后于产业化进程。因此，如何实现复杂多尺度纳米结构的精准设计、可控构筑及安全功能一体化？已成为纳米科学技术的共性问题。

为突破上述瓶颈、释放纳米技术潜能，亟需深度推进多学科交叉融合与协同创新。这不仅将提升相关领域解决国家重大需求与产业关键问题的能力，加速基础研究向工程应用转化，培育复合型人才，更能为战略性新兴产业注入持续创新动能，最终推动纳米技术产业化进程。此举对促进多学科深度融合发展，进一步提升暨南大学学术与产业引领地位具有重要意义。

为突破上述瓶颈，本项目聚焦纳米技术在海洋矿化、光电信息、机器学习驱动纳米材料毒性评估及生物医学四大领域的共性挑战，通过多学科交叉融合，系统性突破纳米尺度“结构设计-精准制备-性能预测-功能集成”全链条关键技术瓶颈：

一、研究项目

1. 纳米驱动-超重力场协同强化海洋固废矿化

(1) 研究内容

针对固废资源化利用率低、碳排放高难题，开展纳米技术驱动的碳减排与固废高值化利用创新研究，重点突破两大方向：超重力碳化碱性固废协同强化与纳米高值化研究。基于超重力场强化多相流反应动力学，耦合纳米气泡微射流效应加速 CO_2 传质，实现固废粉体颗粒表面原位生长纳米级碳酸钙层。开发梯度碳化工艺，在骨料表面原位生成纳米方解石包覆层，同步调控液相中异位成核的纳米颗粒，形成“核-壳-分散相”多尺度增强体系，突破碳化产物单一化技术瓶颈。基于超重力浸出-沉淀体系，耦合特定浸出离子与提取溶剂组分，定向调控碳酸钙晶习，实现纳米形貌可控的可控制备。二是海洋矿化全固废负碳胶凝材料设计理论与方法。基于纳米尺度碳酸钙晶型结构调控理论，通过冷却-加热循环体系精准诱导碱性固废自胶凝反应，实现纳米改性碳酸钙网络框架，制备高性能全固废负碳胶凝材料。从纳米微结构调控到模块化生产，构建海水矿化自胶凝全固废纳米增强胶凝材料一体化技术体系，精准控制纳米粒径分布与孔隙结构，实现可放大示范。利用海洋生物有机质纳米模板或调节剂，诱导定向组

装碳酸钙纳米晶体，赋予基体材料生物交互性与特殊微观多尺度结构。

(2) 研究目标

a. 揭示超重力场中纳米气泡-固废界面传质动力学机制，建立碳化产物原位/异位协同调控理论，开发浸出-沉淀体系下纳米碳酸钙形貌控制工艺。

b. 揭示海洋矿化碱性固废的自胶凝机制，构建海洋生物模板诱导的仿生矿化结构设计理论。

c. 集成超重力纳米矿化与模块化生产技术体系，实现高纯度纳米碳酸钙与负碳建材的联产装备开发。

(3) 考核指标

a. 完成固废颗粒超重力碳化反应器的集成开发与验证，建立间接碳化纳米形貌可控技术体系，实现骨料-纳米颗粒多相产物的协同调控。

b. 构建全固废负碳材料的仿生矿化设计体系，形成海水矿化技术模块化生产方案。

c. 定期开展学术沙龙。发表交叉学科高水平论文 2-3 篇，申请发明专利 1-2 项。

d. 培养复合型人才 2-3 名。

2. 纳米结构赋能多功能集成光电器件

(1) 研究内容

人工智能、大数据等新兴信息技术对光电器件的性能提出前所未有的高性能需求。传统纳米结构正向设计方法，严重依赖计算资源且仅能实现有限的结构特性与光学性能映射，且存在加工精度不足引起结构性能退化等问题，难以满足多功能高性能的迫切需求。本研究拟以纳米光学结构多自由度光场调控为核心，重点纳米结构光电器件设计、加工和多功能集成技术，并结合深度学习研究纳米结构赋能光电器件新原理、新设计和新方法。主要研究内容包括，1) 研究纳米光学结构多自由度光场调控机理，开发多自由度解耦调控结构逆向设计方法。2) 研究跨尺度和高精度的纳米结构加工新原理，开发微纳结构光电器件的大面积高均匀性制备工艺。3) 研究基于深度学习的重构算法，开发多功能集成光电器件和芯片，演示在生物成像、检测、操控和诊疗等方面的应用。

(2) 研究目标

a. 开发基于深度学习的多自由度光场调控逆向设计方法，突破传统正向设计的局限，实现高性能、多功能纳米光电器件的高效设计。

b. 攻克跨尺度高精度加工难题，建立大面积、高均匀性、高

保真度的纳米结构制备新工艺，解决加工误差导致的性能退化问题。

c. 构建基于深度学习的多功能集成光电器件与芯片，并演示其在生物光子学（成像、检测、操控和诊疗）等领域的应用。

（3）考核指标

a. 掌握多自由度光场调控的纳米结构逆向设计方法。

b. 开发跨尺度兼顾纳米精度的微结构加工工艺。

c. 开发纳米结构赋能的多功能集成光电器件。

d. 定期开展学术沙龙。发表高水平原创论文>3 篇，发明专利>3 项。

3. 基于机器学习的纳米材料毒性预测与安全设计平台

（1）研究内容

本研究面向重大疾病的治疗需求，聚焦纳米药物临床转化的关键瓶颈——安全性设计难题，开发基于人工智能的毒性预测与优化平台。通过系统构建治疗导向的纳米材料物化特性-毒性效应数据库（涵盖粒径、表面修饰和器官蓄积性等核心参数），运用多维度特征挖掘技术解析影响临床安全性的关键因子；创新性构建多个机器学习模型（如随机森林、支持向量机、深度学习等），并使用交叉验证等方法评估和优化模型性能，选择最适配模型用

于毒性预测。核心突破在于建立人工智能驱动的线上预评估平台，实现材料设计参数的智能输入与实时分析，输出安全性分级评分、风险溯源图谱及理性优化方案（如表面功能化策略、粒径阈值调控），为创新纳米药物的早期设计提供快速预判。该平台将显著缩短临床前研发周期，降低实验成本，加速具有自主知识产权的安全高效纳米药物研发进程，并推动建立纳米药物安全性评价的新标准。

（2）研究指标

a. 建立覆盖如肿瘤/器官纤维化等重大疾病治疗场景的物化特性-毒性效应数据库；

b. 开发机器学习驱动的纳米药物在重大疾病治疗中存在的毒性预测模型，通过互信息、信息增益挖掘毒性关键驱动因子，基于随机森林、深度学习等算法构建优化模型，实现毒性效应的精准量化评估。

c. 建立纳米材料毒性评估平台，结合模型预测结果，系统解析纳米材料的生态风险等级，提出安全设计策略。

（3）考核指标

a. 完成至少 3 种纳米材料毒性预测模型。

b. 录用/发表 1 篇基于机器学习的纳米材料毒性预测相关的

学术论文。

c. 开展至少 1 次学术研讨会，邀请相关领域的学者进行讨论。

d. 培养复合型人才 2-3 名。

4. 智能响应型纳米诊疗平台的开发

(1) 研究内容

本研究聚焦肿瘤的精准诊疗需求，致力于开展系统性研究，涵盖基础材料创新（包括无机纳米材料、有机纳米材料及有机-无机杂合纳米材料）、诊疗功能深度集成与协同优化、生物安全性系统评估及临床前转化验证。研究旨在突破当前纳米平台存在的响应机制单一、诊疗功能耦合松散、生物相容性及体内行为预测性差等关键技术瓶颈。核心目标是发展能够精准响应肿瘤微环境特异性刺激（如酸性、氧化还原和酶活等）的多功能集成纳米载体，实现诊断成像与精准治疗的反馈与动态调控。通过融合光声成像、磁共振成像、荧光探针等多模态成像手段，构建具备“诊断-反馈-调控”能力的智能诊疗体系。尤为关键的是，本研究将致力于为这类诊疗一体化智能纳米平台建立核心评价标准体系。这包括制定针对诊疗协同效率、智能响应精度、生物相容性、体内分布代谢规律及免疫反应特征等的标准化评估流程。通过系统

的小动物及大动物模型验证，项目将明确平台的体内行为、代谢途径和安全性，不仅为临床试验申报提供关键数据支撑，更旨在推动行业建立针对下一代诊疗一体化纳米技术的规范与标准。

(2) 研究目标

- a.** 开发具有临床转化前景的智能响应型多功能纳米材料。
- b.** 构建“诊断-反馈-调控”智能诊疗体系。
- c.** 建立诊疗协同效率与安全性标准化评价体系。
- d.** 完成大动物模型临床前安全性与疗效系统验证。

(3) 考核指标

- a.** 建立诊疗协同效率与安全性标准化评价体系，制定 3 项核心评价标准（诊疗协同效率、响应精度和免疫原性）。
- b.** 开发 3-5 项具备创新性的纳米制剂、具有潜力的候选纳米药物以及前沿的纳米递送新技术。
- c.** 定期开展学术沙龙。发表交叉学科顶刊论文 2-3 篇，申请发明专利 1 项。
- d.** 培养省级以上青年人才 1-2 名。

二、实施周期

2025 年 9 月 1 日-2027 年 8 月 31 日，共 2 年。