简报

精细化工国家重点实验室
大连理工大学
STATE KEY LABORATORY OF FINE CHEMICALS
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
2020年 第3期

专题报道

樊江莉教授荣获第十六届中国青年科技奖

http://news.dlut.edu.cn/info/1003/59442.htm

近日，第十六届中国青年科技奖颁奖仪式在 2020 世界青年科学家峰会开幕式上举行，大连理工大学精细化工国家重点实验室樊江莉教授获奖。中国青年科技奖旨在表彰那些在国家经济发展、社会进步和科技创新中作出突出贡献的青年科技人才，本届全国共有一百人获得中国青年科技奖。

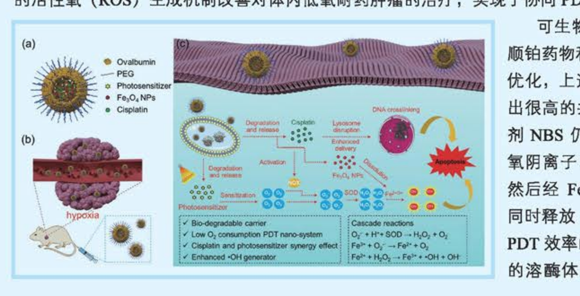
樊江莉，教授，“万人计划”科技创新领军人才，国家杰出青年科学基金获得者，“长江学者”青年学者。长期从事荧光识别染料及其生物应用研究，在靶向性染料分子结构与性能关系等化学产品工程研究方面取得了一系列成果。提出了增强激发态电子转移的染料识别分子设计方法；创制了性能优异的白血病细胞中 COX-2 酶、核酸等肿瘤标志物系列荧光识别染料；破解了五分类血液细胞分析系统技术难题，有力推动了我国血细胞分析系统从国内空白到国际一流的跨越。发表学术论文近 200 篇，获授权发明专利 70 余件。曾获国家自然科学二等奖、教育部技术发明一等奖、大连市青年五四奖章等荣誉称号。

中国青年科技奖由中央组织部、人力资源社会保障部、中国科协、共青团中央共同设立，每两年评选一届，每届名额不超过 100 名，至今已走过了 30 多年历程，在历届近 1600 名获奖者中，很多获奖者在科技创新、攻坚克难中成长为活跃的中坚和骨干力量，在科技、教育、社会发展中发挥了重要作用。

科研进展

卵清蛋白包封的级联 ROS 发生器用于协同抗癌治疗

光动力疗法（PDT）是用光敏药物和激光活化治疗肿瘤疾病的一种新方法，具有高效精准、毒副作用小等特点。然而，肿瘤内部通常为缺氧环境，极大的限制了 PDT 效率。此外，缺氧还会进一步加剧肿瘤细胞耐药性，降低化疗效果。为克服这一难题，樊江莉教授、孙文副研究员联合德国马普高分子研究所 Katharina Landfester 教授报道了由卵清蛋白封装介导的串联 Fenton 反应发生器，通过增强的活性氧（ROS）生成机制改善对体内低氧耐药肿瘤的治疗，实现了协同 PDT / 化学疗法。



可生物降解的卵清纳米胶囊包含 I 型光动力光敏剂（NBS），顺铂药物和用于芬顿（Fenton）反应的 Fe_3O_4 纳米颗粒。通过条件优化，上述三种功能试剂均可包裹于卵清纳米粒子内部，并展现出很高的共包封效率。即使在严格的低氧环境下（2% O_2），光敏剂 NBS 仍具有优异的 I 型 PDT 功效。即在光照下，PDT 产生超氧阴离子，并在超氧化物歧化酶（SOD）的催化下转化为 H_2O_2，然后经 Fe_3O_4 纳米颗粒介导的芬顿反应过程中转化为剧毒的•OH 同时释放 O_2。因而，该过程可实现氧气的循环利用，克服缺氧对 PDT 效率的影响。另外，PDT 过程促进了药物（顺铂，临床抗癌药）的溶酶体逃逸，使抗癌药物高效向核内递送。同时，在烟酰胺

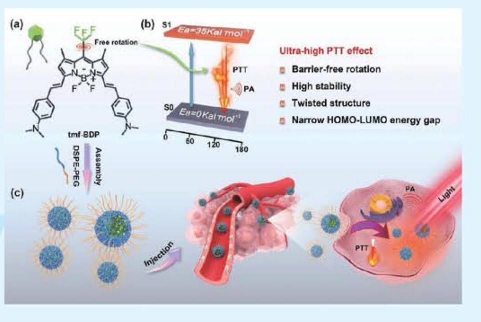
腺嘌呤二核苷酸磷酸氧化酶（NOX）的存在下，顺铂也会产生超氧阴离子，可起到补充•OH 的作用进一步以提高治疗效率。由于 PDT 与化疗的协同作用，该卵清蛋白纳米颗粒在缺氧耐药肿瘤的治疗中展现出优异的效果。这一策略有望用于增强抗癌治疗。

以上相关成果发表在化学领域 Top 期刊 *Angewandte Chemie International Edition* (**2020**, *59*, 2-11)，并被选为 **Hot paper**。论文的第一作者为博士后姜帅和硕士毕业生肖明，大连理工大学为论文的第一通讯单位。该研究得到了国家自然科学基金（21925802, 21808028）、大连理工大学启动基金（2019-BS-047）等经费的支持。

超高效肿瘤光热治疗光敏剂研究新进展

光热疗法（PTT）是具有高选择性和低毒副作用的新型肿瘤治疗手段，正成为科学研究的热点。PTT 是一种典型的光子触发治疗方式，它通过光热试剂 (PTA) 在可见或近红外（NIR）光激发下产生的局部高温杀死肿瘤细胞。在现有的 PTA 中，近红外吸收的有机材料被认为是最有应用前景，其具有较好的生物相容性，潜在的生物降解性和较高的重现性。光热转换效率（PCE）是 PTA 的一个关键因素，它直接决定光热治疗过程中所需要的激发光强度。高强度的激发光很容易对皮肤和组织造成损伤。因此，提高光热试剂的光热转化效率，降低激光使用强度，使用安全光强度的激光用于光热治疗，是 PTT 研究领域的关键点和难点。

近日，彭孝军院士、孙文副研究员在提高光热试剂的光热转换效率的研究中取得新进展：在 BODIPY 染料的 *meso* 位置引入 $-CF_3$，作为转动基团，制备了高效光热有机小分子 tfm-BDP，并对它的特性进行了详细的阐述。作者将强吸电子基团 $-CF_3$，和强供电子基团 N，N- 二甲氨基引入 BODIPY 分子中，形成强的 D-A 结构，显著提高分子的共轭体系，红移吸收波长，并提高吸光系数和光热性能。同时 tfm-BDP 在 NIR (808 nm) 激光照射下，导致 $-CF_3$ 无能垒旋转，这种无能垒旋转使 tfm-BDP 在激发态通过超高效非辐射跃迁途径到达基态，最大限度地将光能转化为热能。有趣的是，由于扭曲的 tfm-BDP 分子骨架可以抑制平行梯状π–π堆积(H- 聚集)。因此，将 tfm-BDP 包封在聚合物纳米粒子中，无能垒旋转可以继续保持在聚集状态。tfm-BDP NPs 具有高效光热转换 88.3%，即使使用低强度激光照射 (808 nm，0.3 W cm^{-2}) 也能显著提高治疗温度，tfm-BDP NPs 的体外和体内实验都达到了优异的治疗效果。特别是在小鼠抑瘤实验，tfm-BDP NPs 在肿瘤部位有效地累积，并且首次在安全 NIR 激光的强度照射下 (808nm, 0.3W cm^{-2}) 导致肿瘤完全消融，因此，该光热试剂的开发能够克服传统光热试剂在活体实验中由于使用高强度激光引起的对健康皮肤和组织的光损伤，具有重要生物医学价值。

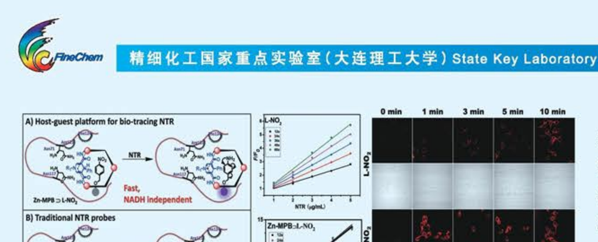


相关成果发表于 *Adv. Mater.* **2020**, *32*, 1907855。该论文的第一作者是博士研究生习东梅，以上工作得到了国家自然科学基金、基金委群体项目、辽宁省博士启动基金的大力支持。

基于辅因子–底物的超分子荧光探针用于缺氧条件下硝基还原酶的快速检测

缺氧与肿瘤的各种生理活动密切相关，缺氧伴随着许多相关酶表达量上升，硝基还原酶（NTR）与缺氧的程度直接相关，定量检测硝基还原酶对于癌症的诊断具有重要的指导作用。在硝基还原酶还原底物过程中，辅酶 NADH 和硝基底物均参与反应，表现出双底物催化过程。现有的硝基还原酶小分子荧光探针具有较高的灵敏度，为肿瘤的检测提供依据，由于硝基还原酶酶促反应过程与 NADH 浓度相关，发展辅因子–底物的主–客体超分子探针，开发硝基还原酶快速检测的新方法成为研究热点。

近日，段春迎教授团队提出了一种基于辅因子–底物的主–客体超分子探针策略，用于硝基还原酶的快速定量检测。主体部分为辅酶 NADH 模拟物 M_3L_3 型金属–有机大环 Zn-MPB，包合客体底物形成 1: 1 的主–客体超分子探针，其还原过程不依赖 NADH 浓度，反应过程中电子传递效率提高。将硝基还原酶的双底物催化还原过程优化为单底物催化还原过程，缩短了反应时间。辅因子–底物超分子荧光探针的荧光强度只与硝基还原酶浓度线性相关，不随时间变化，实现了对硝基还原酶的快速定量检测。细胞测试表明超分子探针对细胞的成像效果明显，在 1 min 之内即可实现对缺氧细胞的快速荧光成像。超分子探针对活体荷瘤小鼠瘤体荧光成像在 10 min 内可达到平衡，辅因子–底物超分子荧光探针具有快速响应硝基还原酶的能力。



这项研究提出了一种辅因子–底物超分子荧光探针策略，极大的促进了探针对酶响应的效率，为仿生催化、肿瘤的早期诊断及前药的激活提供了新思路。相关研究成果近期发表在 *Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 6021-6027，该文章第一作者为焦扬副教授，通讯作者为段春迎教授。以上工作得到了国家自然科学基金国际（地区）合作交流项目、国家自然科学基金面上项目和大连理工大学的大力资助。

电荷分离和系间窜越领域的研究进展

系间窜越 (ISC) 和电荷分离（charge separation）是光化学的重要研究内容，其相关研究对光催化、太阳能电池、光动力治疗 (PDT)、上转换等领域的应用有着重要的意义。但目前相关领域还存在若干难题，比如，大多数有机分子不具备 ISC 能力，通常需要依靠重原子效应来增强 ISC，但重原子效应会导致三重态寿命大大缩短，影响光敏剂在 PDT、光催化、氧传感等领域的应用效果 此外，如何在简单的分子体系中获得长寿命电荷分离态，一直是光化学研究的难点。虽然近年来国内外学术界在无重原子三重态光敏剂以及小分子体系的电荷分离领域进行了广泛的探索，但依然存在光敏剂种类少、分子结构复杂、机理不明确、分子结构普适性不强、ISC 效率低以及电荷分离态寿命短等问题。近日，赵建章教授课题组在上述两个研究领域取得了新进展。

（1）扭曲结构的 BODIPY 作为高效 PDT 试剂：

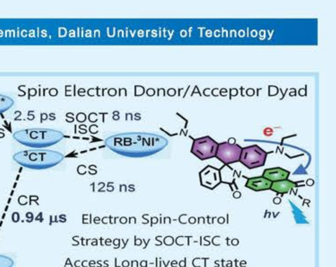
氟硼吡咯 (BODIPY) 荧光团是一个“明星”分子，由于具有良好的光物理和光化学性质，如对可见光吸收能力强、荧光量子产率高、结构易修饰等优点，得到了广泛的应用。基于 BODIPY 发色团的三重态光敏剂已有报道，但吸收波长较短、分子结构多样性、ISC 机理也有待于进一步拓宽。最近，赵建章教授课题组和美国马萨诸塞大学医学院韩纲教授、意大利帕多瓦大学 Antonio Barbon 教授、德国雷根斯堡大学 Bernhard Dick 教授、阿卜杜拉国王科技大学 Omar F. Mohammed 教授等合作，研究了一个具有扭曲分子结构的无重原子 BODIPY 分子的高效 ISC 能力（三重态量子产率，Φ_T = 52 %）和超长三重态寿命（τ_T = 492μs），通过稳态和纳秒、亚纳秒瞬态吸收光谱详细研究了该无重原子 BODIPY 分子体系的光物理过程；并通过时间分辨顺磁共振波谱 (TREPR) 以及理论计算研究了 ISC 机理以及三重激发态子能级的选择性布居、以及三重态波函数的空间分布范围，从而解释了这种无重原子分子的 ISC 机制，其 ISC 主要是由具有扭曲结构的 BODIPY 分子的对称性降低所导致的，从而增强了自旋轨道耦合 (SOC) 和 ISC 效率。该类光敏分子合成简单、成本低廉，由于其优异的光物理性质，可以在极低剂量的试剂浓度 (0.25 μg/kg，远低于最低临床使用剂量 0.1 mg/kg，如 ALA 和 Photofrin) 及低光剂量 (6 J/cm²) 下即实现了高效的光动力治疗效果，将该化合物制备成纳米粒子与免疫药物联用，具有增强免疫治疗效果、协同治疗转移肿瘤的功能，并用肿瘤动物模型验证了其突出的治疗转移肿瘤的效果。因此，该类分子有望成为临床上新一代光动力治疗试剂及转移肿瘤治疗试剂。这一成果近期发表在 *Angew. Chem. Int. Ed.* 期刊上 (Elucidation of the Intersystem Crossing Mechanism in a Helical BODIPY for Low-Dose Photodynamic Therapy. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 16114-16121)，论文的共同第一作者是大连理工大学博士生王智佳、马萨诸塞大学医学院博士后黄灵和大连理工大学硕士生闫雨欣。

（2）通过电子自旋控制获取长寿命电荷转移态（^3CT）新策略：

模拟自然光合作用的分子光化学过程，利用合成的电子给体 / 受体分子来获取长寿命 CT 态是光化学的研究重点之一。对于大部分获取长寿命 CT 态的分子体系，其结构都相对复杂、且难合成，而构建结构简单的电子给 / 受体有机二元分子体系来获得长寿命的 CT 态，很少见报道。其难点之一是电子给受体的选择、二者距离和电子耦合强度的精确调控、以及激发态能级的匹配。赵建章课题组近期与阿卜杜拉国王科技大学 Omar F. Mohammed 教授团队、欧洲非线性光谱实验室 Mariangela Di Donato 教授团队及弗莱堡大学 Stefan Weber 教授团队合作，通过螺环分子结构，直接连接电子给体（内酰胺形式的罗丹明 B, RB）/ 受体（萘酰亚胺，NI），合成了结构简单、具有刚性垂直构型的有机二元染料 (RB-NI)。通过飞秒瞬态吸收光谱、亚纳秒和纳秒瞬态吸收光谱以及时间分辨电子顺磁共振波谱对该分子进行了研究。利用此分子实现了基于自旋轨道电荷转移系间窜越（spin-orbit charge transfer intersystem crossing, SOCT-ISC）的电子自旋控制方法，利用三重态为前体，驱动电荷分离过程，产生了长寿命 ^3CT 态（0.94 μs）。经各种瞬态光谱证实，

RB-NI 受光激发后经历的光物理过程为 S0→^{1}NI* → ^{1}CT → ^{3}NI*→ ^{3}CT→ S0，为获取长寿命 3CT 态提供了新的思路。该工作以全文形式近期发表在 *Angew. Chem. Int. Ed.* 期刊上（Long-Lived Charge Transfer State Induced by Spin-Orbit Charge Transfer Intersystem Crossing (SOCT–ISC) in a Compact Spiro Electron Donor/Acceptor Dyad, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 11591-11599）。文章第一作者是大连理工大学硕士生刘冬艺。

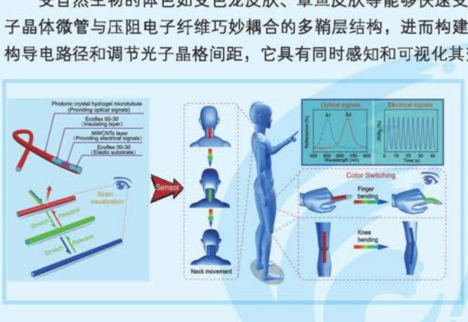
上述研究工作得到了国家自然科学基金、基金委群体项目基金、精细化工国家重点实验室的支持。



快速全色变化的交互式电子纤维传感器件

近年来，人们对电子产品日益多样化、复杂化的需求推动了可穿戴、可拉伸电子学的快速发展。这些可拉伸电子学器件能将外部刺激转换为可测的电学信号（电容、电阻、电流等），在人类活动管理、健康监测、电子皮肤等诸多领域具有重要价值。然而，这些电学信号无法被人眼直接捕获，使得使用者和设备之间难以快速、直观地互动、可视化智能交互。

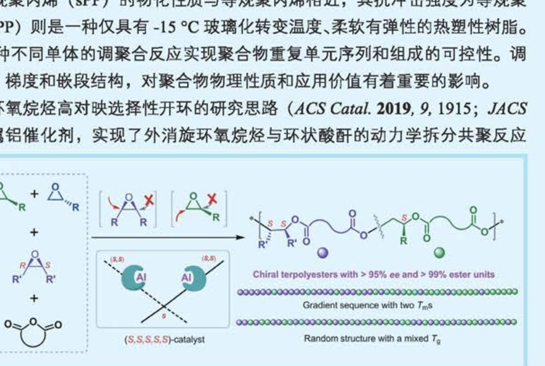
受自然生物的体色如变色龙皮肤、章鱼皮肤等能够快速变化的启发，张淑芬教授团队牛文斌副教授提出设计了一种机致变色光子晶体微管与压阻电子纤维巧妙耦合的多鞘层结构，进而构建了具有高延展性和快速全色变化的交互式电子纤维传感器件。通过重构导电路径和调节光子晶格间距，它具有同时感知和可视化其变形的独特能力。特别是，它表现出在整个可见区域（从红色到蓝色）动态的颜色变化能力，快速的光 / 电响应（80 ms），和大工作范围 (0-200%)。它作为交互式传感器件可以动态地监测人体大关节运动和肌肉的微小振动，实现了用户和设备之间的可视化智能交互。本研究为新兴的交互式柔性器件提供了一个通用的平台，在可穿戴电子设备、人机交互和智能机器人等领域有广阔的应用前景。研究成果以 “Interactively Full-Color Changeable Electronic Fiber Sensor with High Stretchability and Rapid Response” 为题发表在材料领域学术期刊 *Advanced Functional Materials*, **2020**, *30*, 2000356。该工作得到了国家自然科学基金、中央高校基本科研业务费的大力支持。



环氧烷烃与环状酸酐对映选择性三元共聚合成手性聚酯

高分子聚合物的立构规整度、重复单元的序列和组成对其性质有着重要的影响。以聚丙烯（PP）为例，等规聚丙烯（iPP）是应用较为普遍的高分子材料，其具有 160 ° C 的熔融温度；间规聚丙烯（sPP）的物化性质与等规聚丙烯相近，其抗冲击强度为等规聚丙烯的两倍，但刚性和硬度则仅及后者的一半；无规聚丙烯（aPP）则是一种仅具有 -15 °C 玻璃化转变温度、柔软有弹性的热塑性树脂。同时，调控聚合物性质的另一种有效方法是通过二种乃至三种不同单体的调聚合反应实现聚合物重复单元序列和组成的可控性。调聚合高分子材料所具有的四种常见序列结构，即交替、随机、梯度和嵌段结构，对聚合物理性质和应用价值有着重要的影响。

近日，吕小兵教授团队基于多手性双金属协同催化实现环氧烷烃高对映选择性开环的研究思路（*ACS Catal.* **2019**, *9*, 1915; *JACS* **2016**, *138*, 11493; **2019**, *141*, 8937），开发出新型多手性双金属铝催化剂，实现了外消旋环氧烷烃与环状酸酐的动力学拆分共聚反应和内消旋环氧烷烃与环状酸酐的去对称化共聚，制备出立构规整性手性聚酯材料，并进一步实现了内消旋环氧烷烃、外消旋环氧烷烃、环状酸酐的不对称三元调聚合反应，制备出一系列具有梯度或随机结构的手性聚酯。就聚合物的热性质而言，梯度调聚物由于重复单元的比例不同而呈现出由一种结晶形式向另一种结晶形式过渡的趋势；而随机聚合物则仅具有一个可调变的混合玻璃化转变温度。

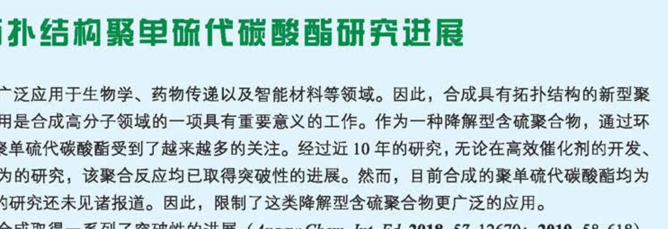


相关研究成果发表在 *PNAS* **2020**, *3*, 202005519 上。文章第一作者为大连理工大学博士生李杰（该生在本科期间就在课题组开展相关研究工作，先前已经以第一作者在 *JACS* 发表两篇高水平研究论文和在 *ACS Catal.* 发表一篇全文，并成功获德国洪堡博士后资金），通讯作者为吕小兵教授。该工作得到了国家自然科学基金（21690073；21920102006），教育部长江学者与创新团队发展计划 (IRT-17R14) 的支持。

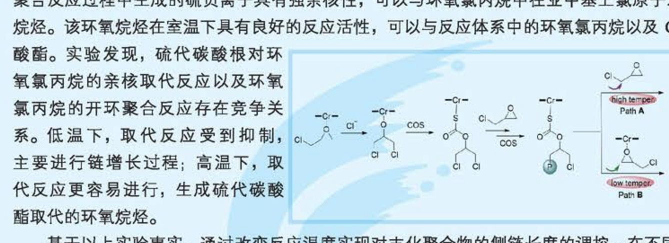
精准合成拓扑结构聚单硫代碳酸酯研究进展

拓扑结构聚合物其独特且多变的特性被广泛应用于生物学、药物传递以及智能材料等领域。因此，合成具有拓扑结构的新型聚合物以进一步开发这类合成高分子材料的应用是合成高分子领域的一项具有重要意义的工作。作为一种降解型含硫聚合物，通过环氧烷烃与羰基硫（COS）的交替共聚制备的聚单硫代碳酸酯受到了越来越多的关注。经过近 10 年的研究，无论在高效催化剂的开发、聚合反应的立体化学控制还是聚合物结晶行为的研究，该聚合反应均已取得突破性的进展。然而，目前合成的聚单硫代碳酸酯均为线型结构。具有拓扑结构的聚单硫代碳酸酯的研究还未见诸报道。因此，限制了这类降解型含硫聚合物更广泛的应用。

最近，任伟民教授在含硫聚合物的精准合成一系列了突破性的进展（*Angew.Chem. Int. Ed.* **2018**, *57*, 12670；**2019**, *58*, 618）。基于前期的工作（*Macromolecules* **2016**, *49*, 2971），实现了环氧氯丙烷与 COS 的交替共聚“一锅法”制备支化的聚单硫代碳酸酯。聚合反应过程中生成的硫负离子具有强亲核性，可以与环氧氯丙烷中的亚甲基上氯原子发生取代反应生成聚硫代碳酸酯取代的环氧烷烃。该环氧烷烃在室温下具有良好的反应活性，可以与反应体系中的环氧氯丙烷以及 COS 进行三元共聚，生成支化的聚单硫代碳酸酯。实验发现，硫代碳酸根对环氧氯丙烷的亲核取代反应以及环氧氯丙烷的开环聚合反应存在竞争关系。低温下，取代反应受到抑制，主要进行链增长过程；高温下，取代反应更容易进行，生成硫代碳酸酯取代的环氧烷烃。



基于以上实验事实，通过改变反应温度实现对支化聚合物的侧链长度的调控。在不同的低温下反应特定时间后，升高反应温度，可合成出侧链长度不同的支化聚合物。与线型聚单硫代碳酸酯相比，支化的聚单硫代碳酸酯的玻璃化温度提升了 22 ℃。采用手性的环氧氯丙烷，可合成主链和侧链均结晶的聚单硫代碳酸酯，其熔点较线型的聚单硫代碳酸酯提升了 40 ℃，达到 114 ℃。这种报道的简单高效合成支化聚单硫代碳酸酯的方法拓展了拓扑聚合物合成方法学库，为以后合成其它支化聚合物提供了借鉴。相关工作发表于 *Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 13633-13637。文章第一作者为大连理工大学博士生乐天俊，任伟民教授和 Texas A&M University 的 Darensbourg 教授为共同通讯作者。此工作得到国家自然科学基金优秀青年基金（Grant 21722402, 21674015）的支持。

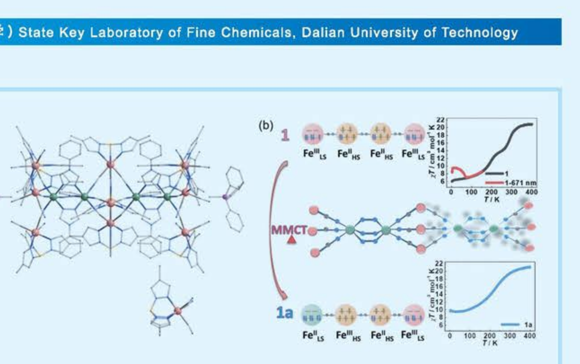


功能磁性配合物研究进展

近年来，具有可调控电子态的功能磁性分子材料已成为配位化学、材料科学和凝聚态物理等交叉领域的研究热点之一。这类分子材料可以在外界光、热、磁场等物理刺激下发生自旋矢量的可逆转变，表现出自旋双稳态特性，有望应用于高密度信息存储、分子开关、自旋电子器件、量子计算等前沿领域。

以自旋交叉和金属间电子转移为代表的磁性配合物可以发生自旋磁矩大小的变化，表现为中心金属高低自旋态的切换。而电子转移可以发生在多个金属中心之间，在伴随金属价态改变的同时，还会发生自旋态的变化。因此，金属间电子转移过程有可能诱导新的自旋转变位点产生，实现二者的协同调控。然而，自旋交叉和金属间电子转移对配位环境改变非常敏感，如何将二者的特性相结合共同调控电子态极具挑战性。对此，刘涛教授课题组提出在经典自旋交叉体系中 Fe^{II}- 三氮唑引入易于发生电子转移的普鲁士蓝类似物单元，成功构建出同时具有自旋交叉和金属间电子转移行为的多核簇 $\{Fe_{13}\}$。单晶 X 射线衍射结合穆斯堡尔谱和磁性测试等

表明，热刺激可以诱导分子内金属间电子转移，使自旋交叉位点数目由 4 变为 3。变温磁化率曲线也从二步自旋交叉变为一步自旋交叉行为。进一步结构分析表明，金属间电子转移引起了 $\{Fe_{13}\}$ 中建筑块的转动和抗衡离子的有序排列，导致分子内和分子间协同作用强度的变化，从而实现了对其自旋转变和光磁行为的调节。本工作首次实现了利用电子转移调控分子自旋交叉，为多途径调控分子电子态和功能可逆切换提供了新的策略。相关研究成果以 “A Mixed-Valence $\{Fe_{13}\}$ Cluster Exhibiting Metal-to-Metal Charge Transfer-Switched Spin Crossover” 为题发表在《德国应用化学》(*Angewandte Chemie International Edition*, **2020**, *59*, 16393-16397) 上。博士研究生文雯为本论文第一作者。



不同于自旋转变配合物磁矩大小的改变，分子纳米磁体表现为磁矩取向变换，其磁矩矢量在移去外磁场后，仍能保持原磁化取向。因此，理解和控制这类功能磁性配合物的磁各向异性是优化其双能级电子结构，实现自旋电子态可逆切换的关键。最近，以双茂基镝配合物为代表的稀土金属有机单分子磁体引起了人们的广泛关注。尽管在分子磁体性能上取得了重大进展，但受限于这类磁性配合物水氧敏感性以及晶体对称性限制，从实验层面对其各向异性研究还未见报道。对此，刘涛课题组通过优化茂环取代基，并引入卤素和甲基桥，构建了一系列同构双核双茂基镝配合物，并成功培养得到可用于角分辨单晶转动实验的高质量晶体。详细地磁性测试表明，卤素桥连镝配合物表现为单轴磁各向异性，磁易轴方向垂直于包含镝原子和卤原子的赤道面。甲基桥连镝配合物的磁易轴不再垂直于赤道面，且 g_x，g_y 分量远高于卤素桥连镝配合物，表明其价相互作用对稀土离子的 4f 电子影响更为显著。低温高分辨荧光光谱和超低温比热实验表明甲基桥降低了基态与激发态间的能级差。此外在甲基桥连镝配合物中首次观测到分子磁各向异性轴的温度依赖性，进一步证实了磁交换作用与外磁场竞争导致的能级交错。本工作首次展示了茂基镝单分子磁体磁各向异性的实验证据，为基于磁各向异性调控分子纳米磁体性能提供了有力支持。相关研究成果以 “Experimental Determination of Magnetic Anisotropy in Exchange-Bias Dysprosium Metallocene Single-Molecule Magnets” 为题发表于《德国应用化学》(*Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 13037-13043)。青年教师孟银杉为本论文第一作者。

以上工作得到了国家自然科学基金委重大研究计划、创新群体项目和大连理工大学的大力支持。

限域超分子拟酶催化领域取得突破性进展

天然酶促级联反应体系仅需催化计量的辅酶便可在复杂的体系内完成高效、高选择性多步串联催化过程，是设计理想人工催化体系的最佳模型。尤其在提倡绿色发展精细化工产业的当前，仿生催化不仅能够减少精细化学品催化生产工业中大量高反应活性、高毒性氧化剂或还原剂的投入，还可以解决污染严重和反应条件苛刻等问题。辅酶在多步串联反应间的直接高效利用和动力学匹配是提升串联反应体系效率的重中之重。学习和领悟自然界酶促过程，组装金属–有机限域超分子体系，通过主客体作用协同天然酶催化是完成辅酶原位循环利用、实现持续循环串联反应的重要手段。近日，段春迎教授团队基于前期工作基础（*J. Am. Chem. Soc.*, **2019**, *141*, 12707; *Chem. Commun.*, **2019**, *55*, 8524; *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2017**, *56*, 8692; *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2017**, *56*, 15284），在限域超分子拟酶催化领域取得突破性进展，提出利用辅酶基金属 – 有机限域超分子结构与天然酶催化体系相耦合的“套娃”式催化新策略，可直接应用于仿生催化单加氧反应。

自然界中，黄素单加氧酶可以利用氧气，在有机化合物骨架中完成直接氧插入反应。这类单加氧酶通过烟酰胺类辅酶 NAD(P)H/NAD(P)⁺ 与黄素功能单元作用，进而获得还原态的黄素分子，而后直接与氧气作用生成黄素过氧化物中间体，再将过氧基团上的氧原子植入底物中，同时，NAD(P)H/NAD(P)⁺在酶促级联反应中再生完成催化循环。利用辅酶基限域超分子结构作为“套娃”结构中间层，与内层包封的黄素结构单元和外层脱氢酶通过主客体作用相结合，构建了人工酶与天然酶级联催化反应新模式。通过系统研究辅酶基限域超分子结构与黄素的主客体作用模式，论文揭示出该种“套娃”式主客体催化策略有利于催化单元、辅助催化单元和底物在空间距离的接近，并通过结构中丰富的氢键稳定反应过渡态而加速反应的进行。利用光谱表征和理论计算，论文阐明了中间层携带内层客体分子同样通过主客体途径进入外层的天然酶蛋白催化口袋，在这种“套娃”式主客体体系的作用下，中间层辅酶不需要在串联反应间转移，确保质子和电子的传递可以原位进行，在温和条件下即可实现环酮和硫醚化合物高效的单加氧反应。同时论文所提出的“套娃”式主客体催化策略不需要添加额外的氧化剂和还原剂且不生成化工中常见的过度氧化产物，为精细化学品催化材料的设计提供理论指导，并为精细化工产业的绿色发展做出贡献。

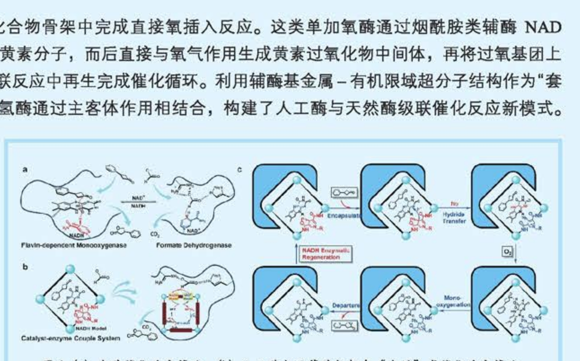


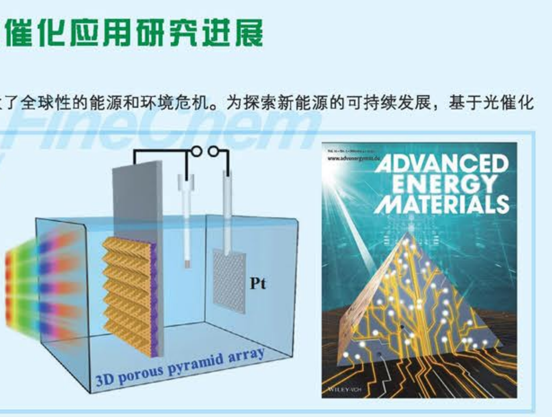
图 1 (a) 全酶催化反应策略；(b) 人工酶与天然酶相耦合“套娃”式催化反应策略；(c)“套娃”式反应策略过程示意图

这一成果近期发表在《自然 · 通讯》上（A Host-Guest Approach to Combining Enzymatic and Artificial Catalysis for Catalyzing Biomimetic Monooxygenation, *Nature Communications*, **2020**, *11*, 2903），文章第一作者是赵亮副教授和博士研究生蔡俊朋，通讯作者为段春迎教授。以上工作得到了国家自然科学基金、辽宁省兴辽英才计划、大连市高层次人才创新支持计划和大连理工大学星海优青基金的大力支持。

高效光 / 电催化应用研究进展

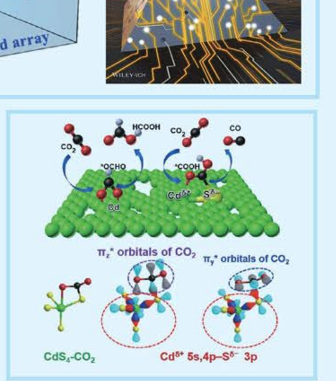
随着社会经济的快速发展，化石能源的过度消耗，导致了全球性的能源和环境危机。为探索新能源的可持续发展，基于光催化与电催化研究引起了学术界的广泛关注。

孙立成院士团队的侯军刚教授在该领域取得重要进展。在太阳能光催化分解水领域，如何提高光生载流子的定向移动，避免载流子复合，成为光催化体系中的关键科学问题。为了促进光生载流子的分离和传输，侯军刚教授等人构建了二维 In_2O_{3-x}/In_2S_3 原子层异质结，其异质结光电极在 1.23 V vs. RHE 条件下光电流高达 1.28mA cm^{-2}，是 In_2S_3 纳米片的 21 倍和块体 In_2S_3 的 79 倍 (*Adv. Energy Mater.* **2018**, *8*, 1701114)。基于异质结和形貌工程策略，侯军刚教授等人构筑了三维多孔金字塔型 In_2O_3/In_2S_3 阵列，原子层沉积工艺沉积超薄 TiO_2 保护层，其保护型 In_2O_3/In_2S_3 阵列光电极在 1.23 V vs. RHE 条件下光电流高达 8.2mA cm^{-2}，远远高出同类电极体系 (Adv. Energy Mater. **2020**, *10*, 1902935)。这系列工作突破单一材料性能的瓶颈，探索异质结体系的表 / 界面的形成机理、构效关系及调控方法，为催化体系构建提供了重要依据。



清洁可再生能源备受关注，电催化分解水被认为是一种高效，环境友好型的制氢技术。现今，贵金属催化剂表现出优异的电催化性能，然而，储量少及高昂的价格限制了其在工业中的应用，为此，开发廉价电催化剂尤为迫切。

利用可再生能源通过电化学二氧化碳还原反应将 CO_2 转化为有价值的碳质燃料和化学品被认为是一种可规模化的战略，具有可观的环境和经济效益。目前，该领域的主要挑战是开发对目标产物具有优异电催化活性和选择性的纳米催化剂。



侯军刚教授等人通过液相合成的方式制备了多孔的硫改性的镉催化剂 (P-Cd|S)。与未改性的 Cd 金属相比，P-Cd|S 结构具有优异的 CO 选择性。通过传质模型的有限元分析，证明了硫改性的镉的高活性都归功于多孔结构诱导的局部碱化和析氢副反应抑制。通过原位拉曼、红外和 X 射线光电子能谱以及理论计算，证明了双活性位点组成的共价杂化的 sp 带与反应中间体之间存在强相互作用，从而自然地消除了 scaling relations 的动力学限制，实现了产物从 HCOOH 到 CO 的转变 (*Adv. Energy Mater.* **2020**, 2002499)。基于之前的工作，侯军刚教授等人综述了近年来对纳米催化剂的非金属物种修饰的研究进展，着重详述了基于非金属物种的调控策略，包括杂原子引入，有机分子修饰，电解液工程以及单原子工程。结合实验、原位表征和理论计算，归纳出了非金属物种改性对于构建独特的活性中心，克服二氧化碳还原的动力学限制具有重要意义 (*Adv. Energy Mater.* **2020**, *10*, 2000588)。这系列工作对于电催化二氧化碳还原反应的选择性调控提出了深刻的见解，有助于加速推进绿色碳循环的机理研究及实际应用。

为了满足工业电解水制氢，所要求的条件：催化剂原料廉价，制备工艺简单和大电流密度下活性和稳定性高。大电流密度 (≥500 mA cm^{-2}) 是工业电解水器件的现实需求。为此，侯军刚教授通过等离子体氧化和氮化工艺构筑了缺陷态镍铝氧化物 / 硫化物异质结阵列，在碱性溶液中均表现出了优异的电催化析氧和析氢性能，仅需要 186 mV 过电势达到 10 mA cm^{-2} 的析氧电流以及 38mV 过电势达到 10 mA cm^{-2} 的析氢电流。更重要的是，将这种复合体系阵列电极分别作为阳极和阴极进行全分解水反应时，仅需 1.46V 的电压便能够达到 10 mA cm^{-2} 的电流密度。关键之处，其在低电压便能够达到 500mA cm^{-2} 和 1000mA cm^{-2} 电流密度，并能在 500mA cm^{-2} 高电流密度下稳定工作 500 小时 (*Nature Commun.* **2020**, DOI : 10.1038/s41467-020-19214-w)。

该系列研究工作得到了中共中央组织部，国家自然科学基金委和大连理工大学的资助支持。

微尺度过程调控和精准强化的膜结晶技术研究进展

高质量晶体的制备对精细化工、医药、石化和生物等领域至关重要。近年来，基于新型膜界面和膜装备的膜结晶技术快速发展，成为高端晶体清洁高效制备的前沿技术。最近，贺高红教授、姜晓滨教授所在的高性能膜与膜耦合过程强化创新团队，针对微尺度过程调控和强化的新型膜结晶过程开展了系列研究，取得了一系列创新性研究成果，发表在化学工程领域国际顶级期刊 *AIChE J.*, *Chem. Eng. Sci.* 和 *Ind. Eng. Chem. Res.* 上，获美国、日本授权发明专利各 1 项（US10675557, JP6742624）。

（1）膜界面的液层传递过程在线可视化研究取得进展

溶析结晶具有能耗低、环境友好的优势，在医药、精细化工、食品、生物等领域发挥着至关重要的作用。姜晓滨教授提出的膜溶析结晶过程（MAAC）构建高效微观混合的近二维液膜传质界面，解决传统溶析结晶过程中的爆发成核问题，实现传质过程强化。近日，团队基于现有的典型传质模型和液膜更新理论，对 MAAC 的液膜形成和动态调节机理进行了可视化研究，分析 MAAC 界面液层的调控机理，利用 CFD 模拟和对比实验证实溶析剂液层对界面浓度梯度的精确调控效果，为强化界面传质的新型溶析结晶过程提供了一个新的研究方向（*Chem. Eng. Sci.* **2020**, *228*, 116003）。

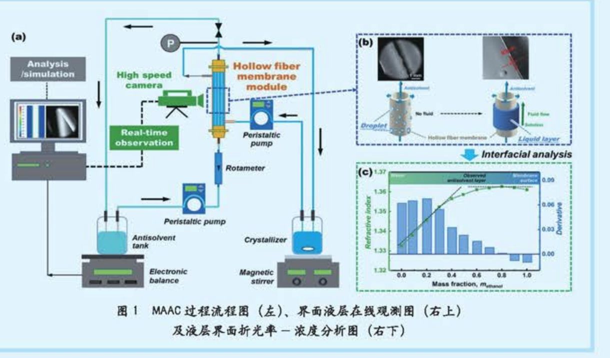


图 1　MAAC 过程流程图（左）、界面液层在线观测图（右上）及液层界面折光率 – 浓度分析图（右下）

（2）多级膜溶析结晶实现医药结晶的连续精确调控

进一步，贺高红和姜晓滨教授基于经典膜渗透传质模型和液膜更新理论（图 1），对膜溶析结晶过程（MAAC）的液膜构建和调节过程进行计算机流体力学（CFD）模拟，并开发多级溶析结晶装备实现医药结晶的连续调控和过程强化（*Ind. Eng. Chem. Res.* **2020**, *59*, 10160-10171，图 2）。结果表明，通过调节中空纤维膜内外的流体流速来调控溶析剂渗透速率，附着在中空纤维膜外侧的液膜层内溶析剂浓度只需要 30 s 即达到稳定，保证了过程的精确调控。同时，多级膜溶析结晶过程可以有效的调节液膜层内溶析剂浓度分布，从而强化各级中“成核 – 生长 – 熟化”等功能分区。

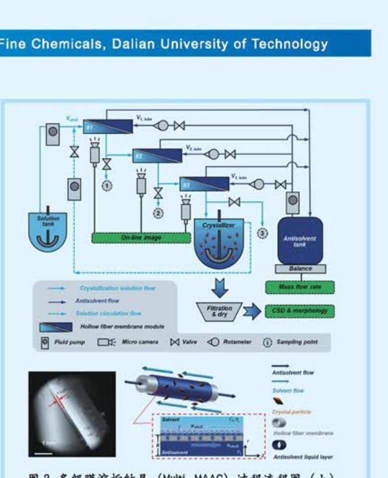


图 2　多级膜溶析结晶（Multi–MAAC）过程流程图（上）及原理示意图（下）

（3）3D 打印微界面结晶器揭示微尺度结晶的精确调控机理

同时，姜晓滨教授、贺高红教授提出利用高精度 3D 打印技术设计制备微界面结晶器，用于研究微尺度过程中的结晶过程调控原理。该结晶器表面具有微米级的点阵结构和坑道结构，是优异的诱导成核异相界面，集成高精度液滴滴加系统和在线数据观测系统，精准调控了微液滴放置位置、滴加体积的同时，实现实时观测和数据采集分析（*AIChE J.* **2020**, *66*, e16280，图 3）。进一步，在微结晶器上研究复杂的横跨液滴结晶过程，发现在蒸发浓缩进程中，由于液相与结晶器界面的作用力，液相界面在经过结晶器坑道的过程中会经历 2 个接触角骤变点，对液滴内部的流场、结晶成核能全有显著影响。这一发现为设计不同曲率的微结构，实现对成核位置和速率分布调控，提供了重要理论基础。

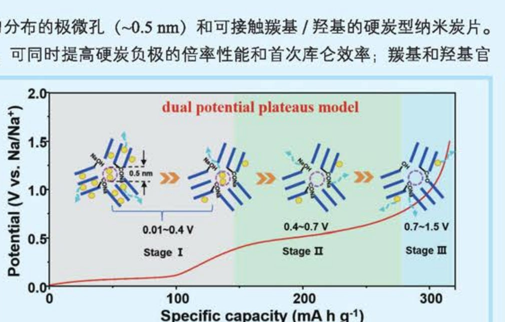
图 3　微界面结晶器的点阵结构（A）和坑道结构（B）设计和实验系统（C）

以上研究得到了国家自然科学基金（21527812, 21676043, 21978037）、科技部重点领域创新团队项目（2016RA4053）和大连理工大学科研创新团队专题（DUT19TD33）支持。

具有均匀集中极微孔以及可接触官能团的硬炭纳米片实现高性能钠离子存储

钠资源丰富且成本低廉，因此钠离子电池被认为是最有前途的大规模储能技术之一，其中由大量石墨微晶、缺陷和孔结构组成的硬炭负极在实际应用中备受关注。近年来，关于石墨化度高的硬炭和多孔硬炭报道较多，它们的比容量为 200~500 mA h g^{-1}，首次库伦效率为 30%~80%，倍率性能差别很大。由于这些硬炭中活性位点多样、储钠行为复杂，因此导致上述三个关键电化学指标往往难以兼顾，且各自所对应的电位区域一直存在争议。在硬炭中引入孔隙可有效减少极化并改善钠离子的扩散动力学，羰基和羟基官能团可以参与钠离子的氧化还原反应和化学吸附，有利于表面快速储钠。因此，通过设计合成具有特定孔道结构和表面官能团的硬炭材料有望解决上述瓶颈问题。

陆安慧教授团队通过界面组装和炭化方法合成了具有孔径均匀分布的极微孔（~0.5 nm）和可接触羰基 / 羟基的硬炭型纳米炭片。极微孔有助于钠离子的快速输运并抑制电解液与孔内表面的接触，可同时提高硬炭负极的倍率性能和首次库仑效率；羰基和羟基官能团的表面氧化还原反应和化学吸附作用有助于快速地电容性储钠。基于这种特殊的组合结构设计，该硬炭可展现出高容量（318 mA h g^{-1}@0.02 A g^{-1}），优异的倍率性能（145 mA h g^{-1}@5.00 A g^{-1}）以及高达 95% 的可用容量(低于 1.00 V 的电位)，并显现出一种“双电位平台”的新型储钠机制。相关成果以题为“Hard Carbon Nanosheets with Uniform Ultramicropores and Accessible Functional Groups Showing High Realistic Capacity and Superior Rate Performance for Sodium-ion Storage”发表在 *Adv. Mater.* **2020**, *32*, 2000447 上。



表面粗糙度可控的单分散纳米炭球

纳米炭球以其各向同性、化学性质稳定、孔隙发达和良好的生物相容性等特点，在储能、催化、吸附、载药等领域具有重要应用。目前对纳米炭球的调控主要集中于尺寸、单分散性和孔隙率等。表面粗糙度是表面性质之一，粗糙的表面有利于促进客体颗粒的沉积和暴露更多的吸附位点。近日，陆安慧教授团队报导了一种表面电荷驱动的界面自组装方法，可制备出具有可调的表面粗糙度、丰富的表面介孔和良好的水分散性的均匀纳米炭球。

通过调控商业硅球 (SiO_2) 和胶体聚合物球 (PNS) 的表面电荷种类，利用表面电荷驱动的界面自组装，构筑离散的限域空间 (PNS@SiO_2)。在随后的高温热解过程中，由于限域空间的存在，聚合物的热分解伴随挥发性物种在硅球表面发生沉积，最后去除硅物种得到表面粗糙的纳米炭球。通过调节硅球在聚合物球表面的覆盖度及后续热解温度，能够对炭球表面粗糙度实现调控。分散稳定性实验证实表面粗糙炭球在水中具有稳定分散的特点，用于液相吸附时，可大量快速地吸附荧光染料分子异硫氰酸荧光素。3 分钟内对异硫氰酸荧光素的吸附量达到 49.1 mg g^{-1}，是相同条件下直接炭化得到的炭球吸附量的 6.5 倍。相关成果以题为 “Surface Charge-Driven Nanoengineering of Monodisperse Carbon Nanospheres with Tunable Surface Roughness”发表在 *Adv. Funct. Mater.* **2020**, *30*, 1906117 上。

功能材料助力精细化学品合成、高效储能及海水电解高效制氢

功能碳材料及其复合材料具有孔隙结构发达、硬度高、韧性强、耐酸碱性能好等独特性能，在能源、催化、环境、航空航天等领域有十分重要的作用，应用前景广阔。针对特定领域的应用需求，设计构筑并精细调控功能碳材料的纳微结构、表 / 界面性质是材料化工技术领域关注的一个富有挑战性的核心科学问题。邱介山教授领导的能源材料化工创新团队多年来一直致力于碳基功能材料的可控制备及其功能的精细调变方法学研究，从分子–微观–介观多尺度层面，有机融合物理外场 / 点击化学和化学工艺过程的创新，提出了“多维碳材料工程”的新概念和技术策略，取得了系列原创性的成果。最近，在功能碳材料助力小分子高效转化 / 精细化学品合成及海水电解高效制氢等方面取得了新的重要进展。

□ 基于碳基复合材料的精细化学品绿色清洁制备技术

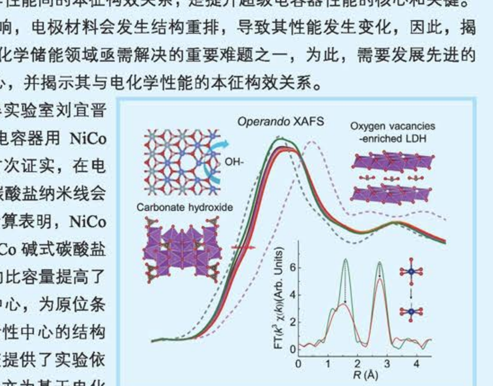
传统的精细化学品合成方法，耗能高，通常需要高温、高压及添加助剂（部分添加剂有毒、有害）提升转化效率，不利于节能和环保。与传统的热催化技术相比，精细化学品的电催化合成技术具有反应条件温和、反应速度快等优势，能够实现精细化学品的高效绿色清洁制备，更重要的，电催化合成工艺能够与太阳能、风能、潮汐能等可再生能源有机融合，利用大量的低品位新电能，降低精细化学品的生产成本，减轻或避免环境污染问题。目前，精细化学品的电催化高效合成，面临三个瓶颈性的约束问题需要解决：①新结构高性能电催化剂的设计合成；②如何避免竞争性副反应，在工业级的大电流密度下实现精细化学品的规模化 / 工业化生产；③如何将电催化制备的反应产物从成分复杂的电解质溶液中高效分离和提纯成合乎要求的产品。

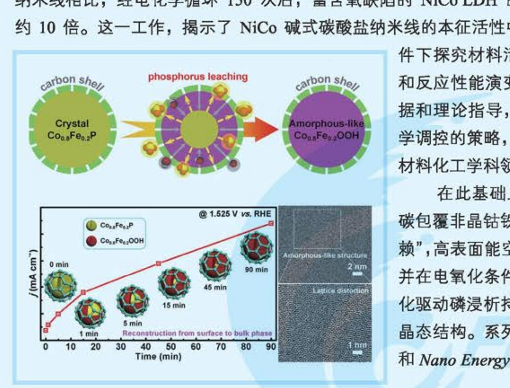
于畅教授、邱介山教授等首次提出了一种电催化合成苯甲酸的新技术，将水电解和电催化氧化合成苯甲酸与结晶分离工艺有机耦合，基于无定型 Ni/Co 氢氧化物纳米片催化剂，实现了高纯度苯甲酸的电催化高效合成。以无定型 Ni/Co 氢氧化物纳米片（A-Ni-Co-H/NF）为电催化剂，巧妙利用强酸置换弱酸的原理及苯甲酸在水中溶解度（0.34 g/100 ml H_2O）较低的特质，向反应后的电解液中加入盐酸，实现了苯甲酸的结晶；经过滤重结晶等处理，苯甲酸晶体的纯度可进一步提高。这一全新的技术策略，消除了竞争性的析氧副反应，在工业级电流密度（>400 mA cm^{-2}）下，实现了苯甲酸的安全清洁高效生产。利用原位拉曼技术，揭示了苯甲醇选择氧化制备苯甲酸过程中电催化剂的本征活性中心及其催化作用机制。这一新技术为精细化工产品的低成本清洁制备提供了全新的思路。成果发表在英国皇家学会旗舰期刊 *Energy Environ. Sci.* **2020**, in press, https://doi.org/10.1039/D0EE02607G。

□ 碳基超级电容电极材料在使役过程中的结构演变及动态重构机制

超级电容器是一类重要的“明星”电化学储能器件，具有广泛的应用市场，其性能在很大程度上取决于电极材料的结构。从原子尺度解耦电极材料的本征活性，诠释电极微观结构特征与其电化学性能间的本征构效关系，是提升超级电容器性能的核心和关键。在使役工况条件下，因物种吸附、非可逆性电化学反应等因素的影响，电极材料会发生结构重排，导致其性能发生变化，因此，揭示电极材料的本征活性中心及使役条件下的真实反应机理，成为电化学储能领域亟需解决的重要难题之一，为此，需要发展先进的原位表征手段，从原子尺度去鉴别电化学反应过程中材料的活性中心，并揭示其与电化学性能的本征构效关系。

于畅教授、邱介山教授与美国斯坦福大学、SLAC 国家加速器实验室刘宜晋博士等合作，采用原位同步辐射吸收谱学技术，揭示和解构了超级电容用 NiCo 碱式碳酸盐材料在电化学循环过程中的动态重构过程。研究结果首次证实，在电化学循环初期，由于 Co 离子的不可逆氧化还原反应，NiCo 碱式碳酸盐纳米线会转变为富含氧缺陷的 NiCo 氢氧化物纳米片（NiCo LDH）。DFT 计算表明，NiCo LDH 中 5 配位的 Co 位点具有最优的氧化还原反应能垒。与初始 NiCo 碱式碳酸盐纳米线相比，经电化学循环 150 次后，富含氧缺陷的 NiCo LDH 的比容量提高了约 10 倍。这一工作，揭示了 NiCo 碱式碳酸盐纳米线的本征活性中心，为原位条件下探究材料活性中心的结构和反应性能演变提供了实验依据和理论指导，亦为基于电化学调控的策略，设计构筑高性能的电极材料开辟了新思路。研究成果发表在能源材料化工学科领域的著名学术刊物上（*Joule* **2020**, *4*, 673-687）。



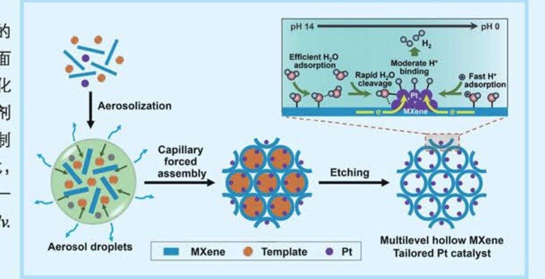


在此基础上，他们提出了一种磷物种促进的深度电化学氧化策略，构筑了碳包覆非晶钴铁羟基氧化物。发现，非晶态结构的演变对磷物种浸析具有超强“依赖”，高表面能空位和缺陷位会在磷浸析过程中形成，驱使残留物种发生结构重组，并在电氧化条件下进一步氧化，形成具有非晶态结构的钴铁羟基氧化物。随电氧化驱动磷浸析持续进行，非晶构型逐渐由表层深入至体相，最终形成全体相的非晶态结构。系列成果发表在 *Small Methods*（**2020**, DOI:10.1002/smtd.202000546）和 *Nano Energy*（**2020**, *69*, 104377）上。

□ 基于 MXene 的水分子催化转化技术

环境友好、低成本、绿色化可再生能源的开发利用，是我国及当今世界发展低碳经济、改善生态环境、缓解能源危机的重大战略需求，其核心和关键在于发展绿色高效的可再生能源存储与转化新材料、新技术与新理论。二维过渡金属碳 / 氮化物的 MXene 具有可在金属至半导体间广泛连续调控的限域电子结构、丰富可调的表面化学、优异的机械强度等性质，是近年炙手可热的前沿明星材料家族，在能源、环境、催化、生物、电磁屏蔽、超导、分离、电子等领域显示出广阔的应用前景。与石墨烯等传统二维材料相比，MXene 研究在国内外方兴未艾，但受制于其较低的本征电化学活性与化学 / 结构稳定性，工作多围于超级电容器等较少依赖表面反应过程的领域。创建调控 MXene 的表界面结构与性质功能的技术方法，是拓展 MXene 实际应用的基础。需要解决的关键科学问题，包括但不限于：如何防止表面亚稳态金属原子的氧化失活？如何避免表面官能团对活性位点与离子扩散的遮蔽效应？如何避免层间氢键与范德华作用导致的结构堆叠团聚？等。

王治宇教授、邱介山教授等基于超声外场与模板辅助的 MXene 结构组装与拓扑转化机制，在大幅拓展催化活性界面的同时，实现了对 MXene 三维结构中介传质通道与局域化学微环境的精细调控，创制出 MXene 基低 Pt 电解水催化剂 (2.4% Pt)，在全 pH 范围及海水复杂环境中实现了高效制氢，其催化活性与稳定性优异，与商业化 20% Pt/C 催化剂相比，析氢质量活性提升了 10-20 倍，将电解海水制氢技术推进了一大步。结果发表在材料科学技术领域的国际知名学术期刊 *Adv. Funct. Mater.*（**2020**, 201910028）上。



公众开放

传播科学知识，弘扬科学精神、普及科学常识、提升科学素养是重点实验室责无旁贷的责任与使命。实验室通过短期考察、定期开放的方式，利用科普讲座、现场参观等形式来宣传普及科学知识，回馈社会。

8 月 23 日，2020 年大连市科技活动周在大连市规划展示中心正式启动，此次科技活动周由大连市科学技术局、中共大连市委宣传部、大连市卫生健康委员会、大连市科学技术协会联合举办。今年科技活动周以“科技战疫 创新强国”为主题，力图全面展示科技创新成就和科技战疫成效，大力弘扬科学精神，普及科学知识，促进科技创新和科学普及协调发展，推动科技创新成果和科学普及活动惠及于民。

在科技创新与科技战疫成果展上，以精细化工国家重点实验室为主体的“大工突击队”向前来参加展会的张志宏副市长、大连市科学技术局李大民局长详细介绍了彭孝军院士指挥组织实施的“抗新型冠状病毒药规模制备工艺”项目，该项目在一个月内实现了全合成工艺及批量制备研究，随后在半年内开发冻干粉针制剂、雾化剂和吸入气雾剂的研究，取得重要阶段成果。此次展示得到了市领导及与会参观者和线上观众的高度关注和赞誉。

在 8 月 24 日–8 月 28 日为期 5 天的 2020 年青少年高校科学营大连理工大学分营上，来自全国不同地区的 300 余名青少年营员和带队教师云端相聚大工。以《逐梦“云”端，“连理”未来》为主题，学校团委精心设置了“梦启连理 志为国立”、“海天情缘 探秘深蓝”、“砥砺匠心 厚积薄发”、“穿山越海 鹰击长空”、“卓越创新 相约未来”5 个分主题，涵盖了大师报告、科普知识讲座、国家重点实验室参观、大学课程体验、科技动手实践等内容。在“与名家大师面对面”环节，精细化工国家重点实验室彭孝军、蹇锡高两位院士云端对话青少年——《“中国制造 2025”战略背景下的精细化工 2.0》与《我的科研报国路》，带给营员们对科学的憧憬，激发对科学的兴趣。

彭孝军院士从化工的角度，为我们阐述了制造、制造到创造的升华——智能化，以智能化工的涵义、结合实际举例与国家需要发展的方向为线索，展示了“中国制造”战略背景下的精细化工 2.0。在专业知识分享之后，彭孝军院士强调人生到底能走多远，取决我们的道德品质，希望营员们把握青春年华，不断锻造自己，成为有知识、有能力、有思想、有境界的“四有”青年。

对于智能化工新材料的未来，蹇锡高院士与大家分享了他的科研报国路。他以自己的求学经历开篇，回顾改革开放以来的科技创新，讲述他在高分子材料领域的科研创新过程与感悟。最后，他对营员们提出了四点期望：立志奋斗，树立远大理想，做好大学规划；磨练意志，坚定信念，克服困难；努力探索，求真务实，学习钻研；坚持创新，科技报国，攀科学高峰，为建设世界科技强国练就好本领。

地址：大连市高新区凌工路 2 号 大连理工大学西部校区 F 座 212 室　邮编：116024
电话（传真）：0411-84986292　E-mail：finechem@dlut.edu.cn
网址：http://finechem.dlut.edu.cn