



天津大学  
Tianjin University

第十二届2024工业废水处理  
新技术与研发成果交流大会  
暨供需对接展示大会

# 共晶光催化剂及其 太阳光催化降解水体污染物

报告人：朱伟钢

工作单位：天津大学

汇报时间：03月17日

# 汇报提纲

一

个人基本情况

二

研究背景介绍

三

研究成果介绍

四

拟开展的研究

# 报告人学习工作经历



◆ 2011年07月，电子科技大学，微电子与固体电子学院应用化学专业，工学学士，导师：刘孝波教授



◆ 2016年07月，中国科学院化学研究所物理化学专业，硕博连读，理学博士，导师：胡文平研究员



◆ 2016年11月-2019年10月，美国西北大学文理学院化学系博士后研究员，导师：Tobin J. Marks教授



◆ 2020年03月-至今，天津大学理学院化学系英才副教授（特聘研究员），博士生导师（2022.06-）

# 研究背景：能源危机、环境污染、碳达峰碳中和国家战略



为了减少对化石燃料的依赖，发展大规模、廉价、可持续的清洁能源技术迫在眉睫。**双碳战略与能源问题、环境问题紧密相关。**

研究背景：工业废水、医疗废水、生活污水产生量逐年增加

水体  
污染物

国家  
重大需求

酚类有机物

神经毒性、内分泌毒性

重金属

环境持久性、生物积累性

有机农药

蓄积性、慢性中毒

抗生素

耐药性污染、痕量浓度

抗性基因

加快抗生素耐药性的传播

抗生素已被列入我国《重点管控新污染物清单》

我国水中优先污染物黑名单中有6种酚类物质被列为控制对象

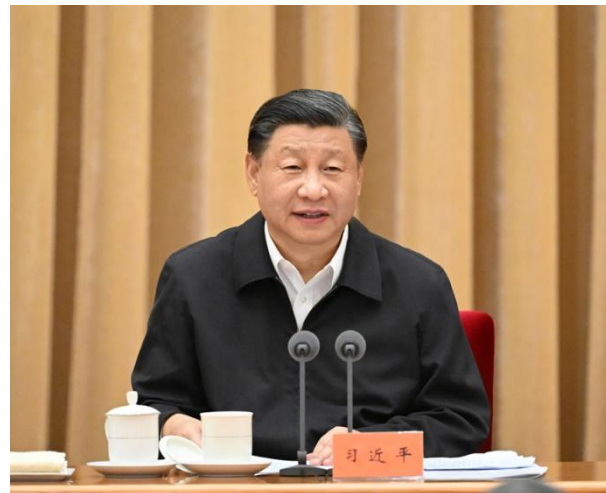


# 研究背景：废水污水处理是当前国家重大需求

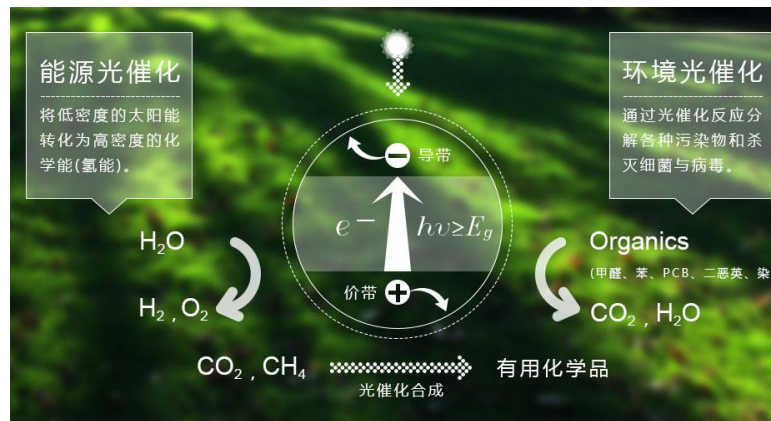
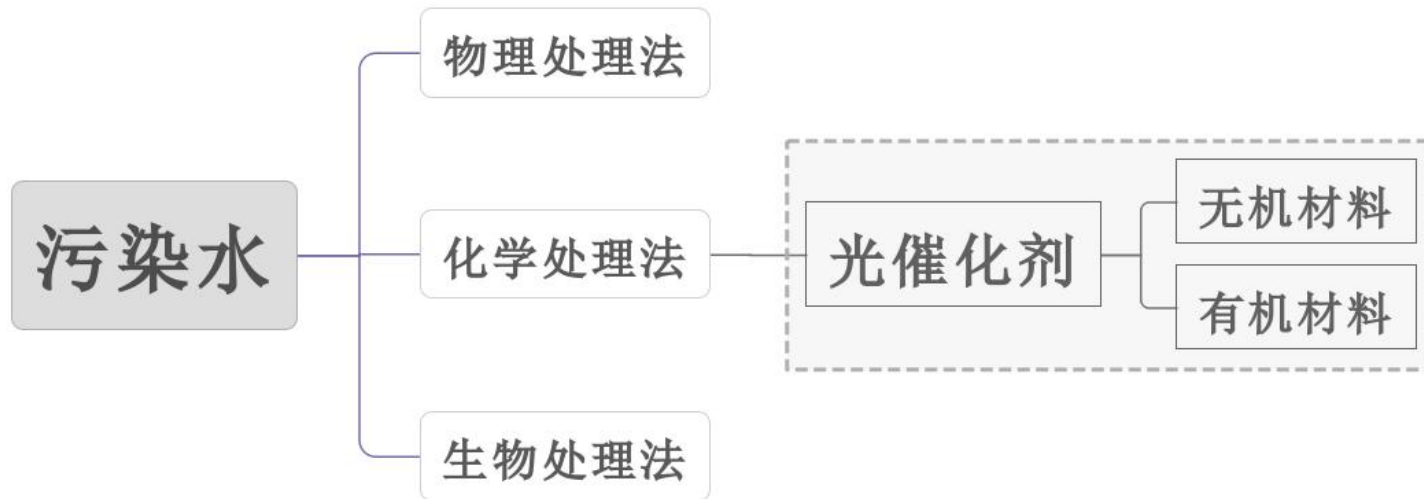
## 习语

今后5年是美丽中国建设的重要时期，要深入贯彻新时代中国特色社会主义思想，坚持以人民为中心，牢固树立和践行绿水青山就是金山银山的理念，把建设美丽中国摆在强国建设、民族复兴的突出位置，推动城乡人居环境明显改善、美丽中国建设取得显著成效，以高品质生态环境支撑高质量发展，加快推进人与自然和谐共生的现代化。

——2023年7月17日至18日，在全国生态环境保护大会上的讲话



# 太阳光催化降解水体毒害污染物技术：新型光催化材料

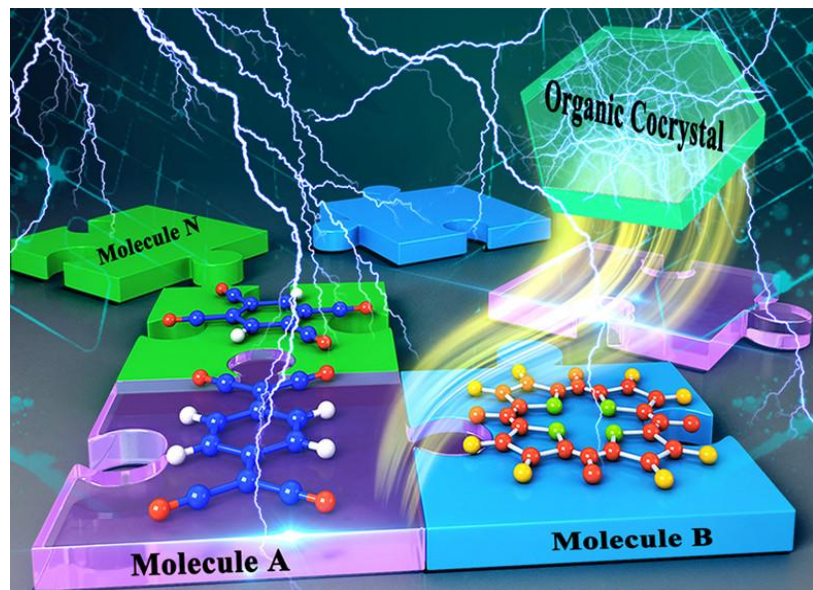


□ 能否开发新型光催化剂，高效利用太阳光，催化降解水体污染物？

# 发展分子共晶光催化剂：水体中毒害污染物治理

## 环境功能共晶光催化材料制备与应用

10余年来一直围绕分子共晶功能材料开展研究



*J. Am. Chem. Soc.* **2021**, 143, 46, 19243-19256

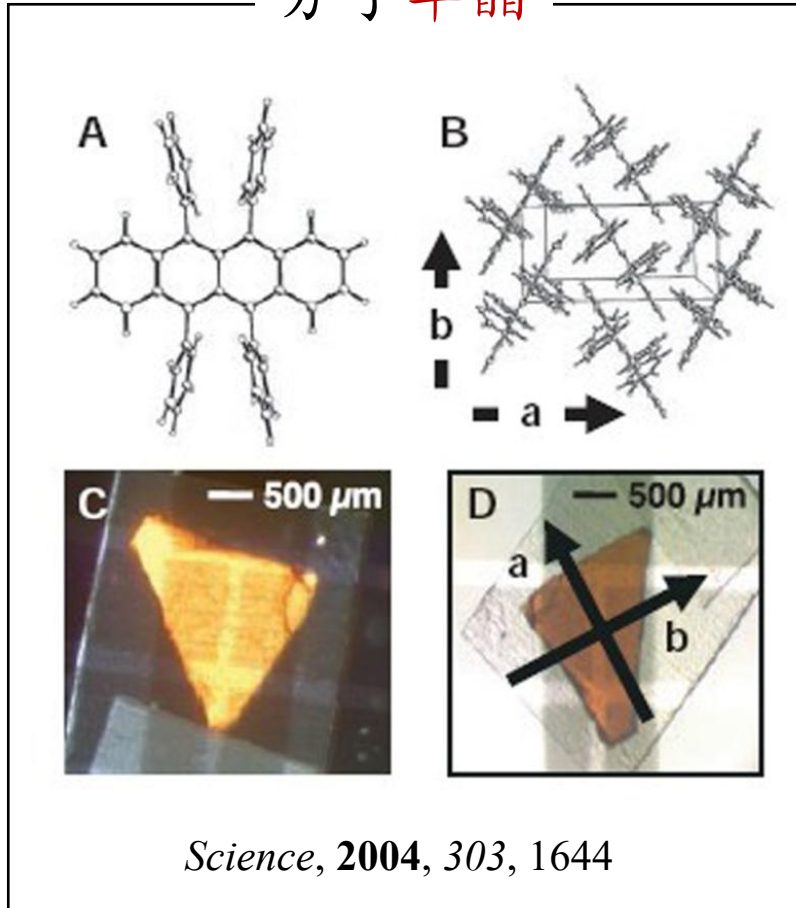
- 堆积结构清晰
- 分子结构和性能调控性强
- 供受体组分促进电荷分离
- 光电性能优异
- 分子自组装易于大量制备

在共晶分子设计、功能应用等方面积累了丰富的丰富经验！

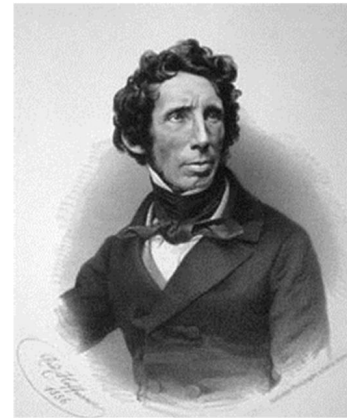


# 什么是“共晶”(cocrystal)?

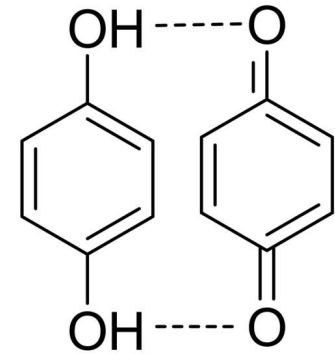
## 分子单晶



## 分子共晶



Friedrich Wöhler



醌氢醌 (quinhydrone)

*Justus Liebigs Annalen der Chemie*, 1844, 51, 145

“醌氢醌”的发现

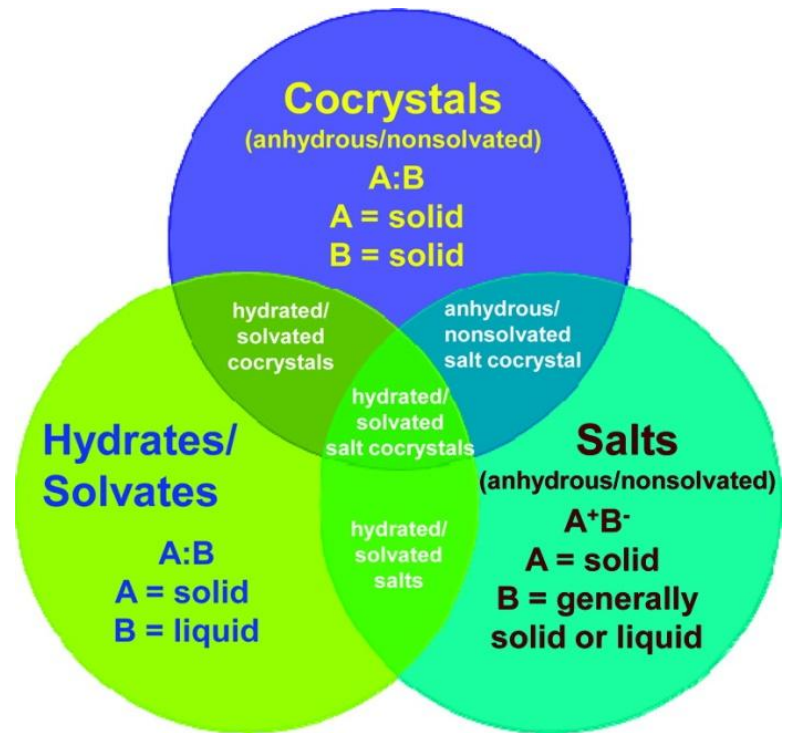
通过分子间作用力构成的晶体

新物质固体形态??

# 什么是“共晶” (cocrystal)?

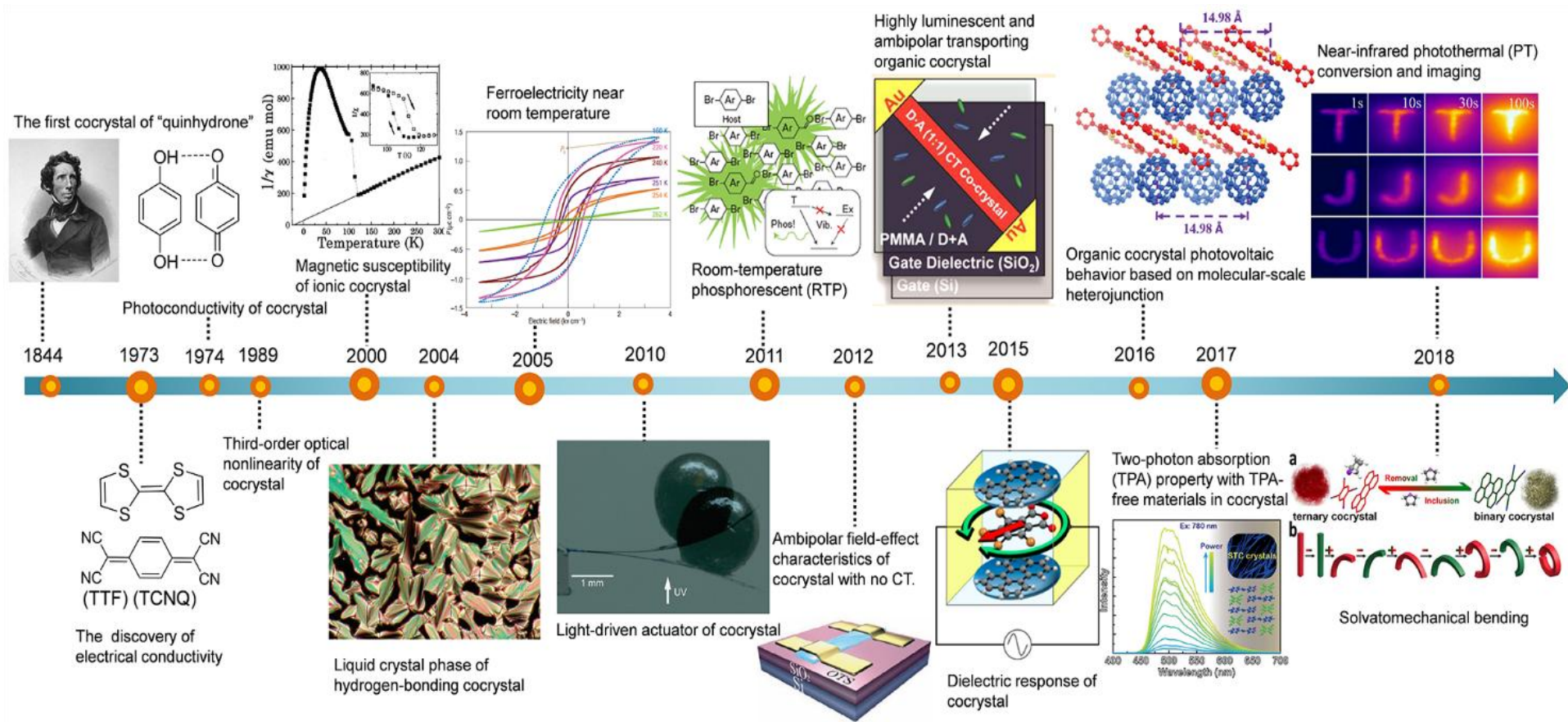
## 定义争论

- 1893年 “molecular compound” (醌氢醌)
- 1960年 “molecular complex” (苯-六氟苯)
- 1988年 “cocrystal” 名词首次出现
- 2003年 “composite crystal”
- 2003年 “lattice compound”
- 2005年 “cocrystal” 被认可



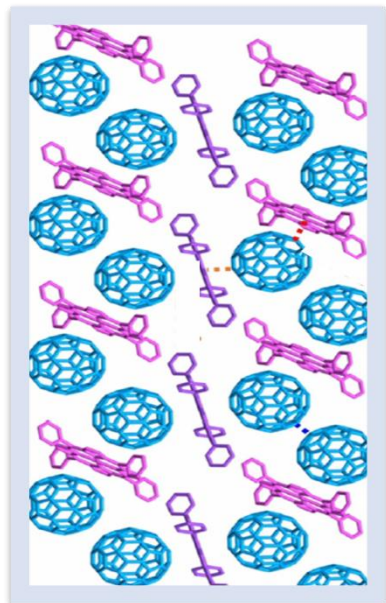
由两种或两种以上分子，按照一定比例有序排列形成的单晶

# 分子共晶的发展历史：新兴领域，正在蓬勃发展



电导、室温磷光、双极性传输、非线性光学、光催化...

# 分子共晶：结构+性能+机理优势

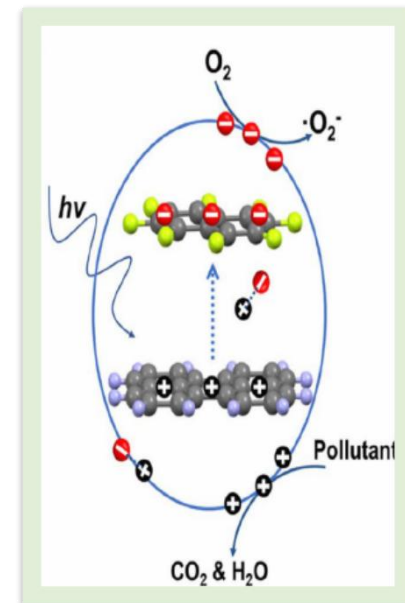


供受体分子  $\longleftrightarrow$  电荷分离

堆积结构  $\longleftrightarrow$  电荷传输

官能团修饰  $\longleftrightarrow$  反应位点

自组装特性  $\longleftrightarrow$  批量制备

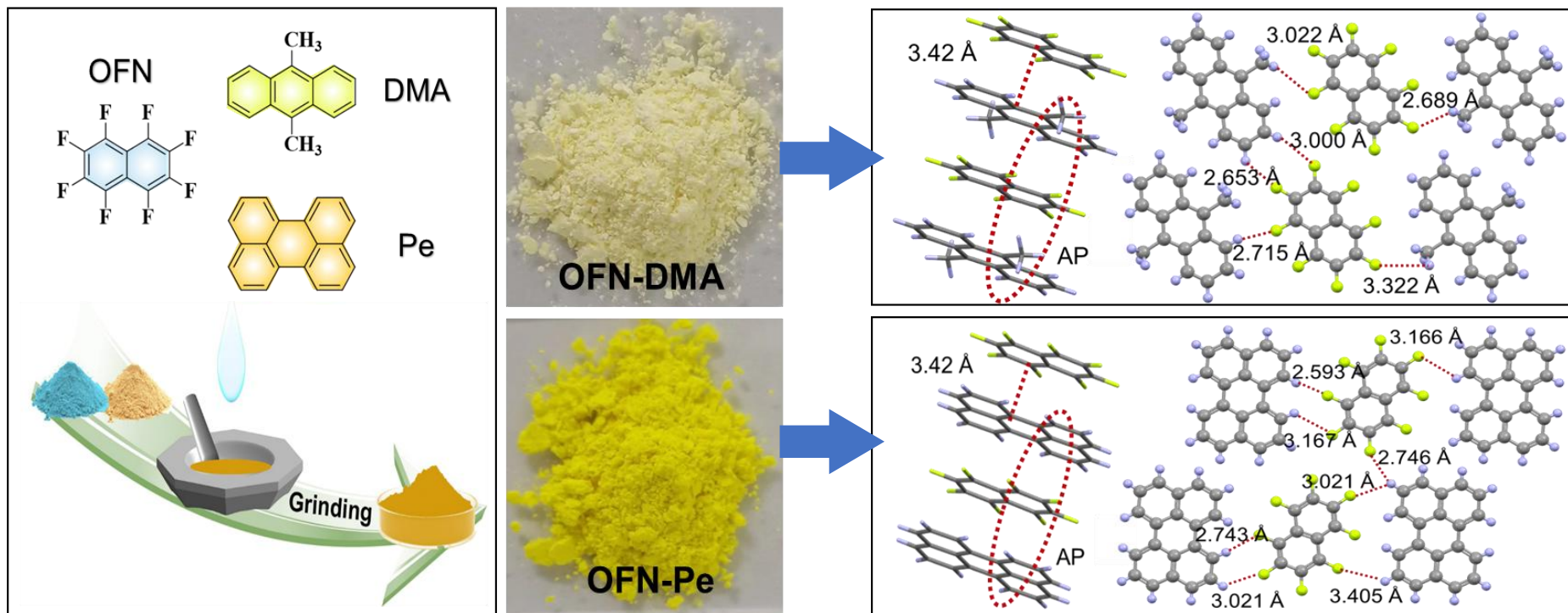


为环境光催化剂提供新的材料设计方案!



# 工作一：芳烃-全氟芳烃分子共晶用于高效光催化降解污染物

## ① 分子共晶大量制备与结构表征

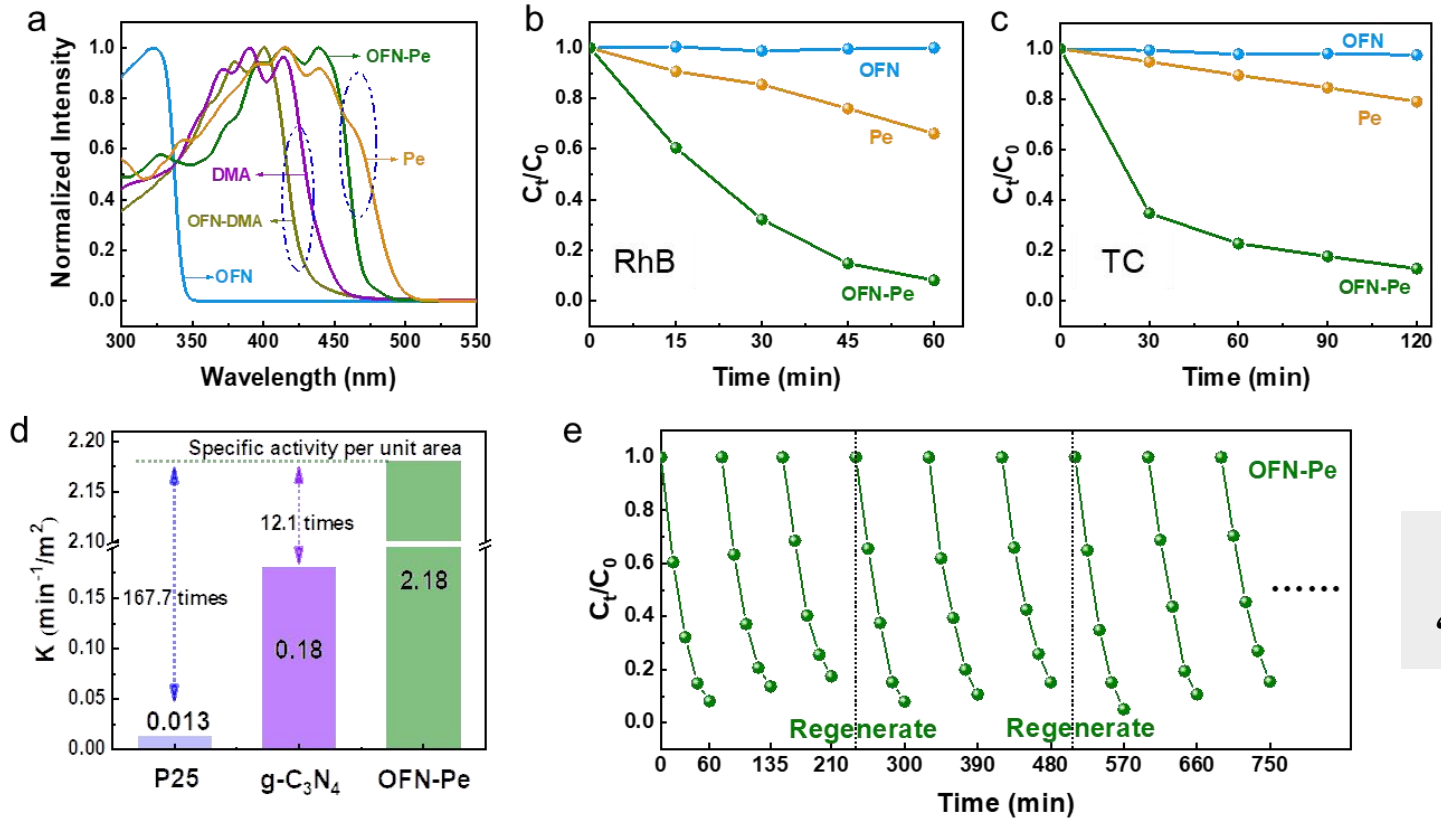


- 液体辅助研磨法批量制备分子共晶光催化剂
- 催化剂具备有序的堆积和高的结晶性



# 工作一：芳烃-全氟芳烃分子共晶用于高效光催化降解污染物

## ② 水体污染物降解性能



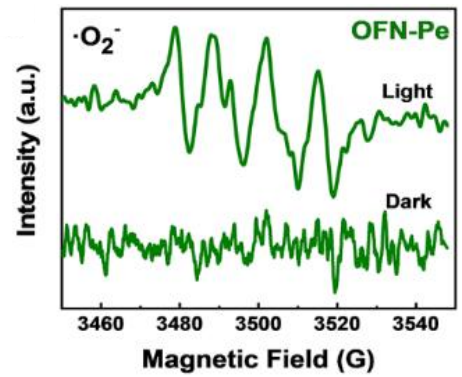
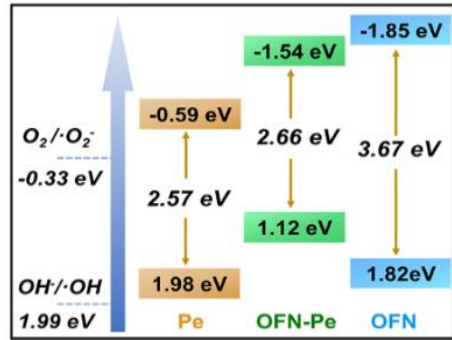
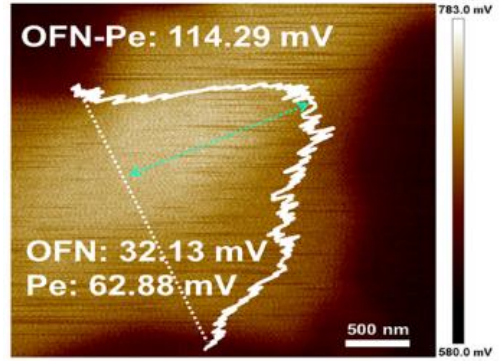
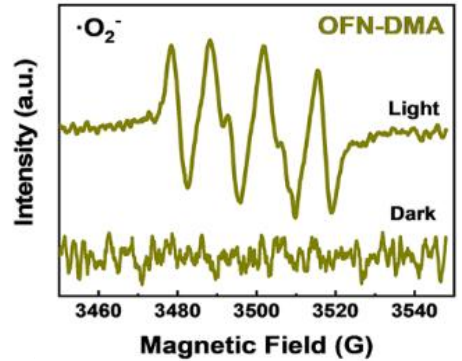
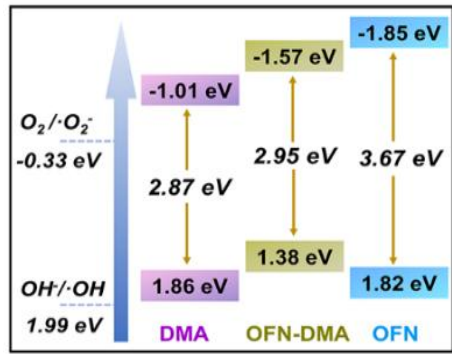
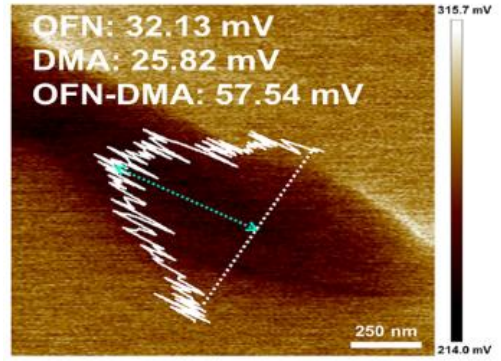
催化剂再生  
“一本万利”

- 可见光辐照下 (420-780 nm)，共结晶显著提升光催化活性
- OFN-Pe对罗丹明B染料和四环素的降解性能媲美商用光催化剂P25



# 工作一：芳烃-全氟芳烃分子共晶用于高效光催化降解污染物

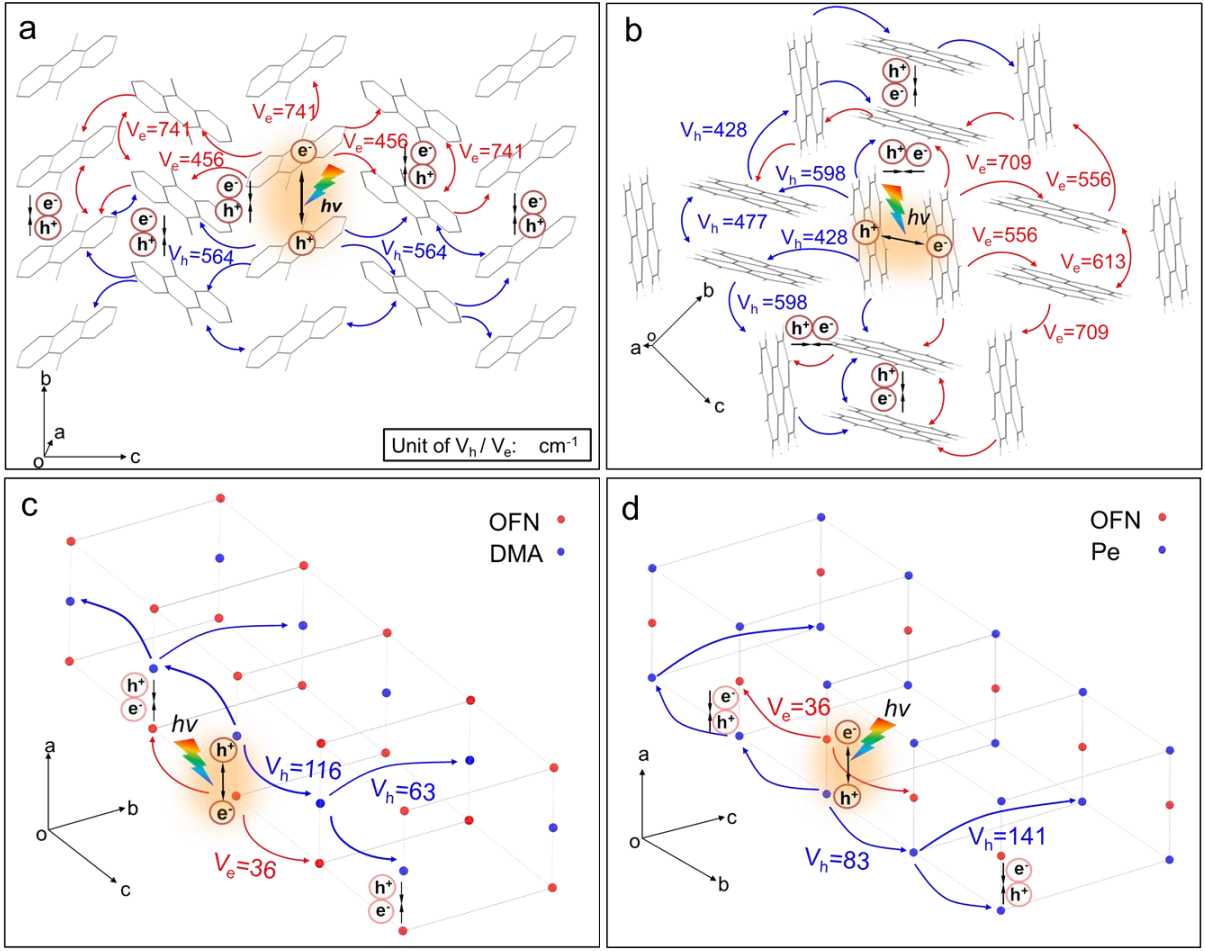
## ③ 共晶结构、能带结构、活性自由基之间的关系



- 电荷分离：供受体组分增强内置电场
- 能带调控：LUMO电位提升，超氧自由基生成起到关键作用

# 工作一：芳烃-全氟芳烃分子共晶用于高效光催化降解污染物

## ④ 理论计算：共晶结构优化载流子传输



➤ 电子-空穴复合概率大大降低



# 产业应用的可能性？



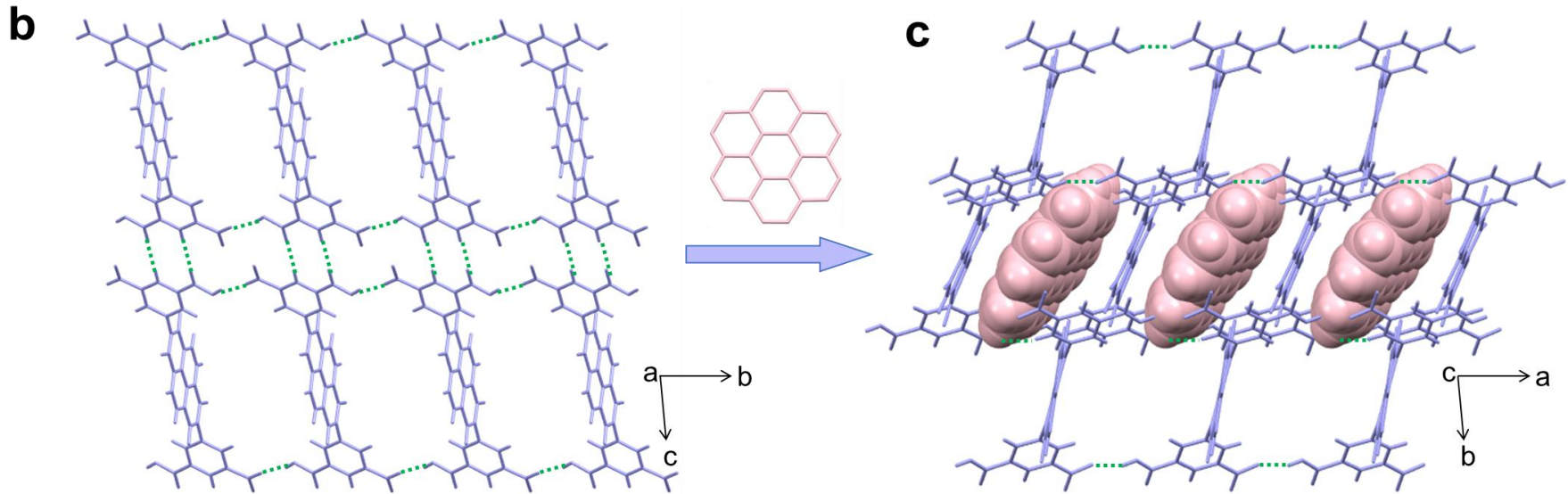
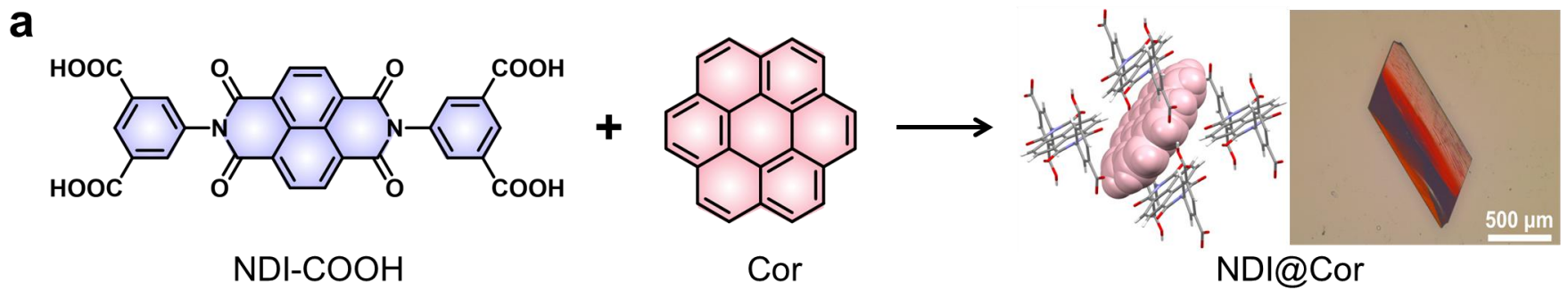
合作实现材料技术的应用示范？

正在突破材料宏量制备技术



# 工作二：HOF共晶中自由基和非自由基途径增强光催化苯酚矿化

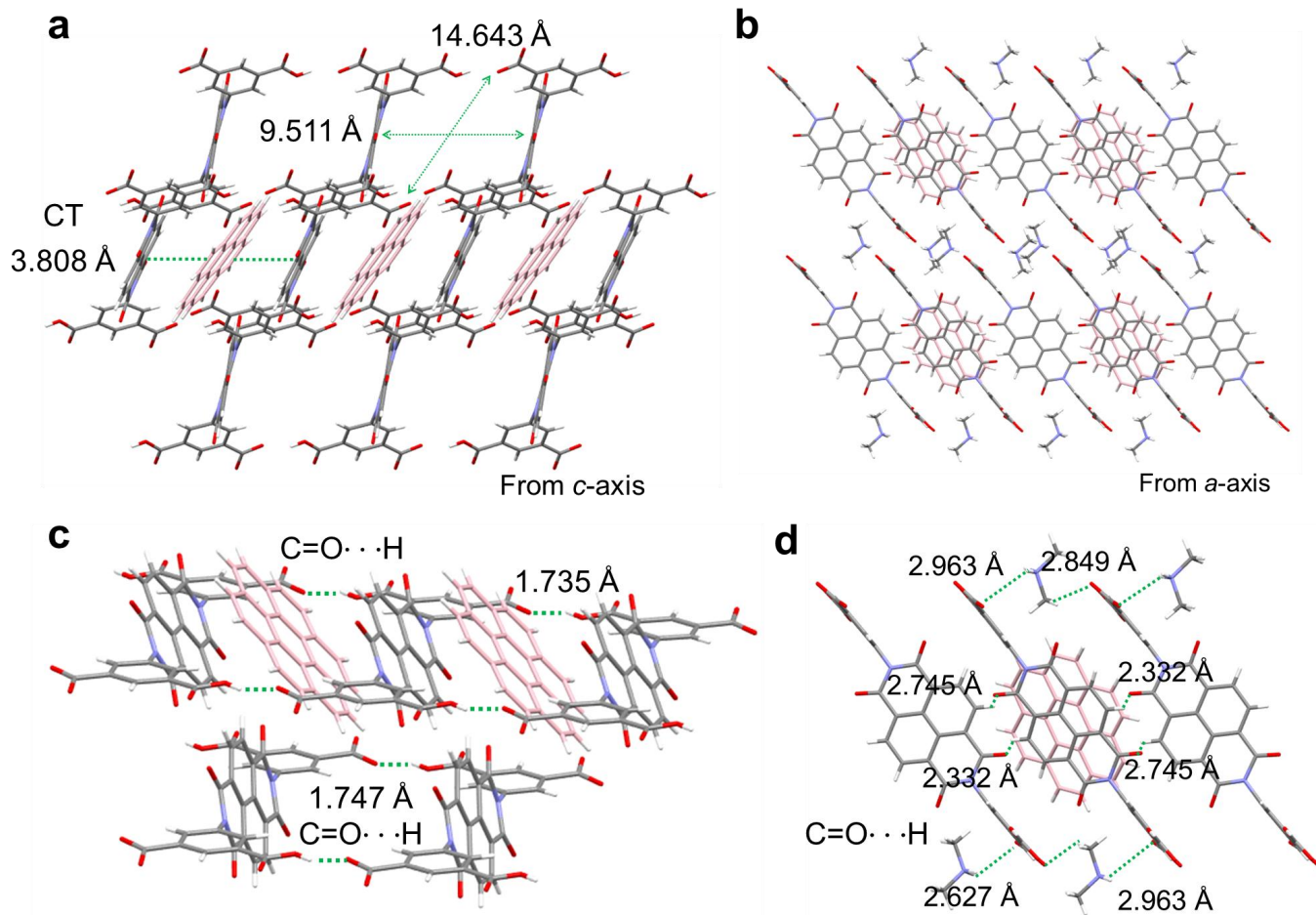
## ① HOF共晶制备



➤ 使用溶剂热法得到结构独特的HOF共晶

# 工作二：HOF共晶中自由基和非自由基途径增强光催化苯酚矿化

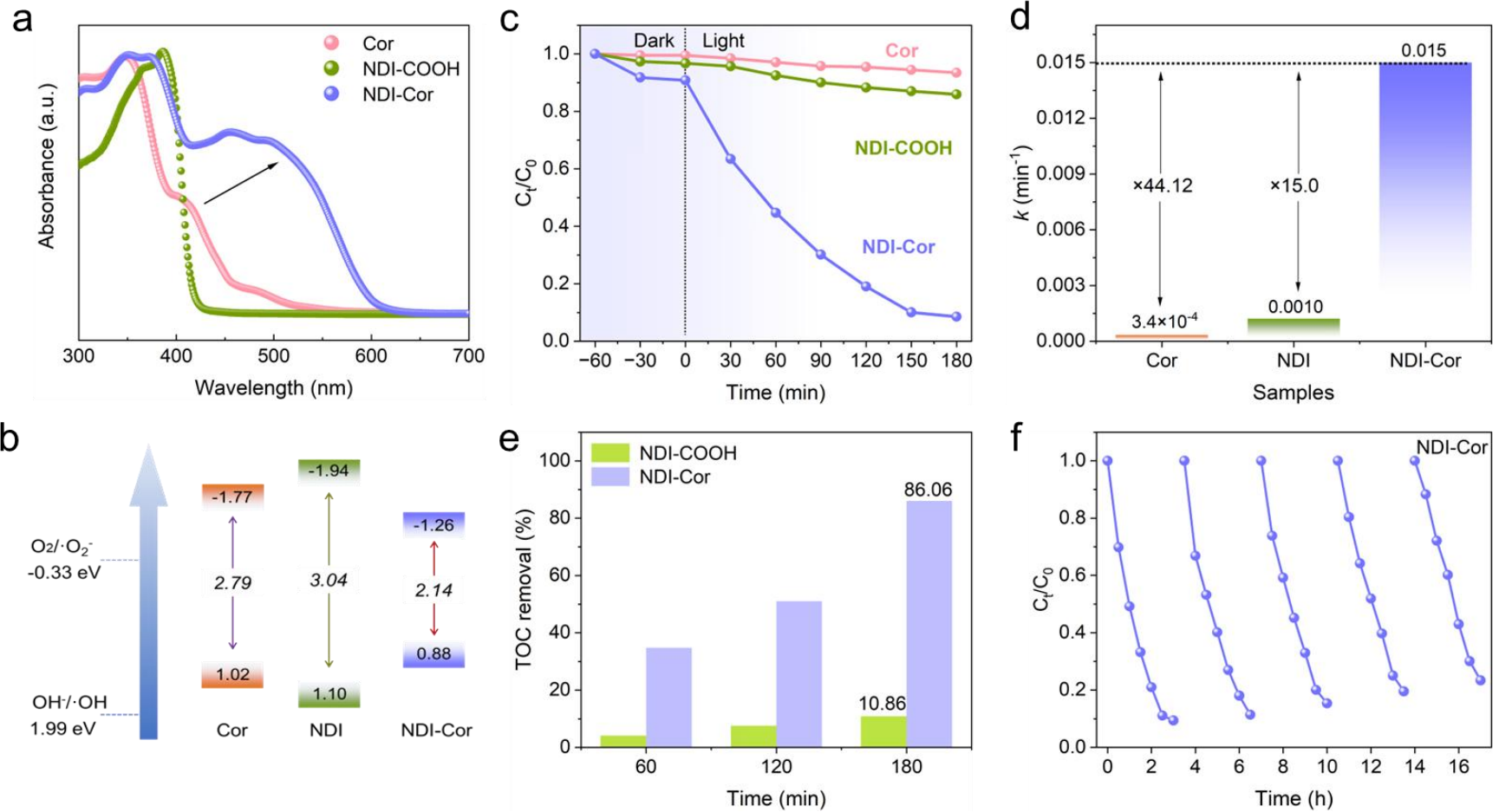
## ② HOF共晶结构表征



➤ 多孔结构协同供受体间电荷转移作用

# 工作二：HOF共晶中自由基和非自由基途径增强光催化苯酚矿化

## ③ HOF共晶增强苯酚降解和矿化

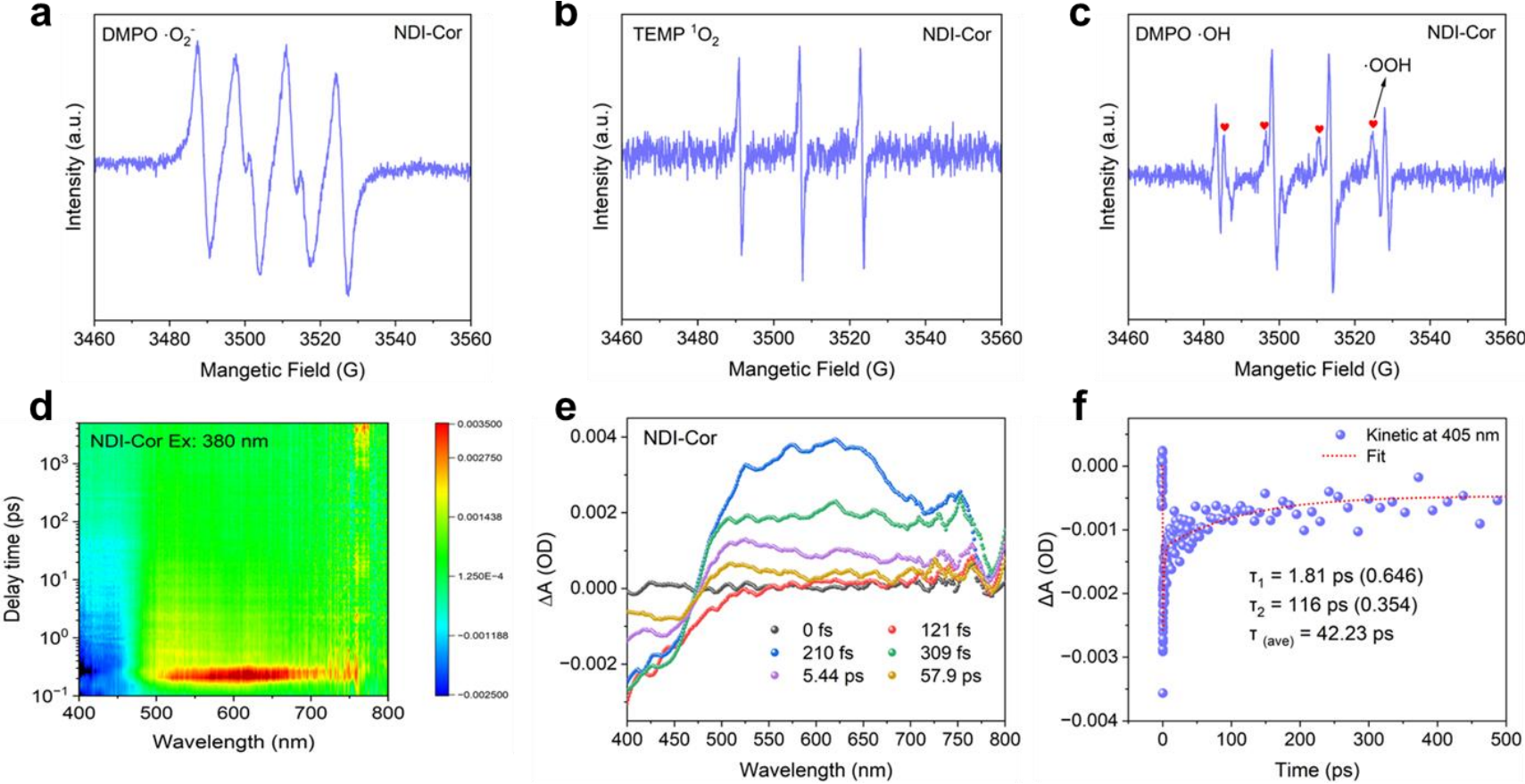


➤ 可见光辐照下 (420-780 nm)，苯酚矿化效率高达86%



# 工作二：HOF共晶中自由基和非自由基途径增强光催化苯酚矿化

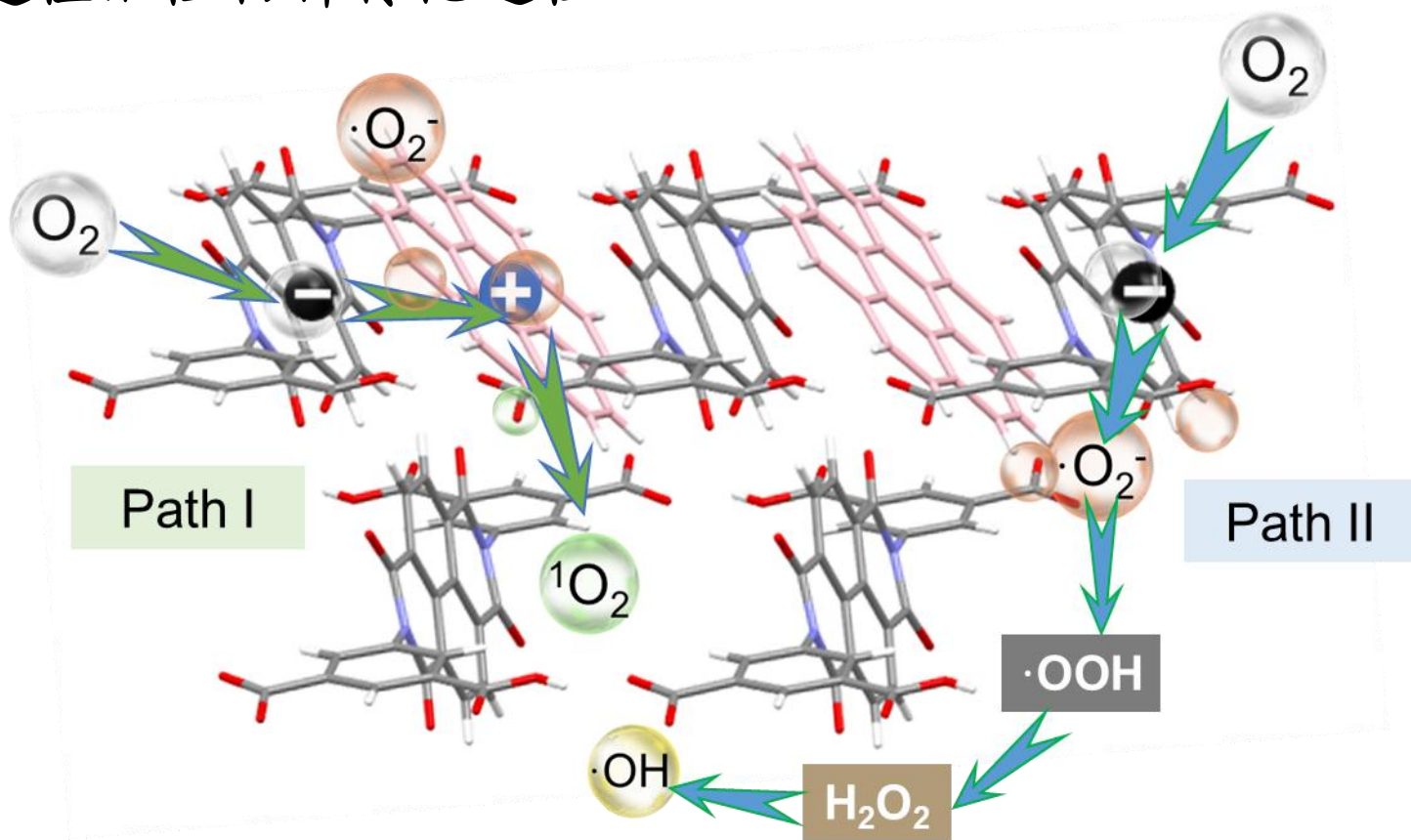
## ④ 自由基和非自由基途径



➤ 单线态氧来自于  $O_2$ -转化,  $\cdot OOH$ 来源于  $O_2$ -质子化,  $\cdot OH$ 源自于体系 $H_2O_2$ 自分解

## 工作二：HOF共晶中自由基和非自由基途径增强光催化苯酚矿化

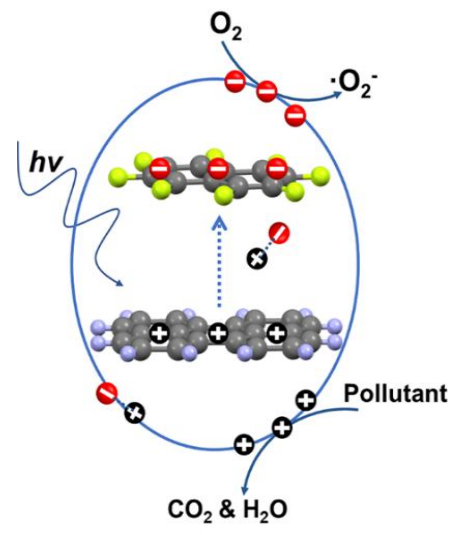
### ⑤ 双途径活性物种转化过程



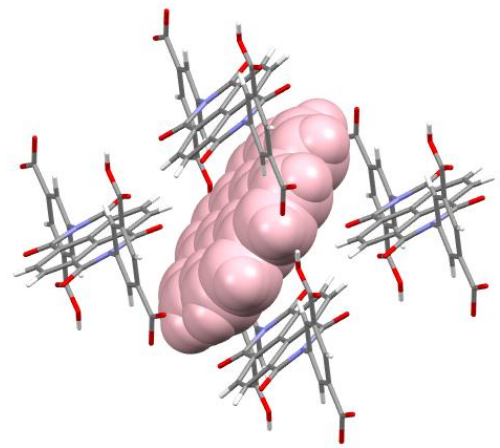
- 电荷转移加速活性物种转化
- 多孔结构有利于苯酚捕获



# 小结：已取得的研究进展



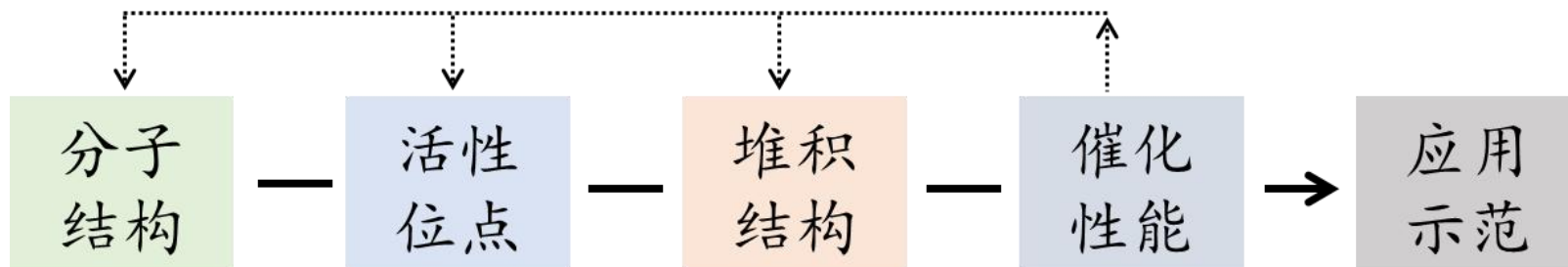
- 共结晶大幅增强光催化性能
- 水处理性能媲美商业光催化剂
- 可实现大规模制备
- 易于对能带、电荷传输等调控



- HOF共晶结构的合成
- 多孔结构有利于苯酚吸附
- 电荷转移作用增强苯酚矿化
- 活性物种有效转化

## 下一步拟开展的研究工作

- 开发新型卤键、氢键等分子共晶
- 分子共晶中官能团与活性位点研究
- 激发态动力学行为与光催化活性关系的研究
- 选取合适的分子共晶体系用于应用示范





# 致谢

## □ 基金资助:

- 多频谱吸波材料与结构教育部重点实验室, 开放课题, ZYGX2019K009-1
- 国家自然科学基金委, 青年科学基金项目, 52103318
- 天津大学北洋学者英才计划启动经费I期, 0903075108, 0701321080

## □ 资助机构:



## □ 学生团队:





谢谢大家！