

# 栗振华——未来三年研究计划

## 面向绿氢提效降本的电解水制氢耦合催化氧化

### 1. 总体目标

针对传统电解水制氢过程中阳极析氧（OER）反应动力学过程缓慢，且  $O_2$  附加值较低等问题，将重要的有机氧化反应替代 OER 过程，有望降低产氢能耗，同时制备高值学品。本项目拟重点围绕电解水制氢耦合醇氧化反应新体系创制、耦合氧化及制氢高性能催化电极设计、电解水制氢耦合氧化反应器开发三方面开展系统研究，希望为破解电解水制氢提效降本难题提供一条新路线。

### 2. 研究背景

氢气具有来源广、热值高、清洁、可再生等优点，被誉为 21 世纪控制地球环境问题、解决能源危机的“终极能源”，对整个世界经济的可持续发展具有重要的战略意义。利用可再生能源（如太阳能、风能）驱动的电化学技术，直接从水中生产氢气被公认为是一条绿色环保的途径，但高成本已成为制约其发展的主要瓶颈。在电解水制氢过程中，阳极 OER 反应动力学过程缓慢，且  $O_2$  附加值较低，将阳极 OER 过程替换为重要的氧化反应，不但有望降低整体能耗，提升产氢效率，而且可以实现高附加值化学品的绿色合成，从而破解电解水制氢提效降本难题。

在诸多有机分子氧化反应中，醇类分子的选择性氧化是工业上非常重要的反应，例如，甲醇、乙醇、乙二醇、甘油、HMF 等通过催化氧化可以得到甲酸、乙酸、乙醇酸、乳酸、FDCA 等系列化工产品，可用于生产可降解塑料、药物中间体和食品添加剂等。本项目拟重点围绕电解水制氢耦合醇氧化开展研究，基于制氢耦合氧化反应新体系的创制、高性能催化电极的可控制备、电解水制氢耦合氧化反应器设计开发等三方面内容开展系统研究，希望为实现绿氢的高效生产和低值有机原料的高值转化提供一条新型绿色途径。

### 3. 研究内容

1. 针对电解水制氢所面临的阳极 OER 能耗高、氧气附加值低等问题，以

热力学上更有利的醇氧化作为阳极 OER 替代反应，利用阳极电解水产生的活性氧物种，实现对醇分子的选择性氧化，制备系列高值含氧化合物（醛、酮、羧酸等）。结合多种电化学原位表征技术和理论计算，揭示催化剂表面活性氧存在形式和能量大小，为醇分子的选择性氧化提供理论指导。

2. 针对电解水制氢耦合醇氧化过程中涉及到的复杂界面反应过程。拟重点围绕层状双金属氢氧化物（LDH）这类材料，通过催化剂结构化设计、微观界面结构调控、表界面亲疏水改性等，强化反应物/产物在催化剂上的传质、吸附、反应和脱附过程，提高反应速率。同时研究和揭示催化活性位点在反应过程中的动态演变规律和催化反应机理。

3. 探索适用于工业电解槽的催化电极放大制备方法，实现电极表面结构从微观到宏观尺度的可控。进而设计和开发电解水产氢耦合氧化电解原型器件，研究电极、电解液、隔膜之间的匹配关系，实现大电流类工业反应环境中醇的高效氧化。同时探索更为绿色的产物分离和电解液循环利用新工艺，为电解水制氢耦合氧化技术的真正应用奠定工程化基础。

#### 4. 工作方式

本项目将基于课题组目前已有研究成果，充分利用北京化工大学化学学院以及化工资源有效利用国家重点实验室等平台的工作基础和实验条件，开展以电解水制氢“提效降本”为应用导向的基础科学研究。同时积极与清华大学、华东师范大学等国内外相关科研团队开展合作，保证项目的顺利完成。

#### 5. 预期成果

1) 创制系列电解水制氢耦合醇氧化反应体系，并设计多种高性能氧化及制氢催化电极，明确催化活性位结构并揭示反应过程和机理；进而开发连续流动相小试电解槽，在大电流类工业反应环境中完成稳定性和能耗验证。

2) 预期在国内外高水平期刊上发表研究论文 5-10 篇，申请国家发明专利 2-3 项，形成自主知识产权。

3) 培养硕士研究生 3-5 人。