

# 能源催化转化全国重点实验室工作简报

< 2026 年 01 月 >

能源催化转化全国重点实验室编

2026 年 01 月 31 日

## 研究进展

我室“离场电催化全分解硫化氢制氢和硫磺技术”通过科技成果评价.....	01
我室通过离场电催化策略实现生物质高选择性重整转化为甲酸和氢气.....	03
我室提出反应微环境调控策略实现高效二氧化碳捕集-电解 一体化制一氧化碳.....	05
我室通过光催化选择性氧化 C(sp <sup>3</sup> )-H 键制备醛/酮.....	06
我室通过钨诱导双位点协同策略实现高效酸性析氧.....	07
我室通过 CO 诱导的 Cu-ZnZrO <sub>x</sub> 催化剂重构实现 CO/CO <sub>2</sub> 协同 共加氢制甲醇(sp <sup>3</sup> )-H 键制备醛/酮.....	08

## 新闻动态

我室研究团队及多名科研人员和研究生获 2025 年度冠名奖.....	10
------------------------------------	----

## 队伍建设

我室罗磊、王吉章被聘为“张大煜青年学者”.....	10
---------------------------	----

## 研究进展

### 我室“离场电催化全分解硫化氢制氢和硫磺技术” 通过科技成果评价

1月6日，基于我室太阳能研究部（DNL16）李灿院士团队研发的“离场电催化全分解硫化氢制氢和硫磺技术”在北京通过中国石油和化学工业联合会组织的科技成果评价。中国石油化工集团有限公司曹湘洪院士担任科技成果评价委员会主任，中国科学院城市环境研究所贺泓院士担任评价委员会副主任。中国石油化工集团有限公司谢在库院士、中国石化工程建设有限公司孙丽丽院士、中国石化石油化工科学研究院聂红院士，我所副所长黄延强、科研及职能部门相关人员等出席会议。

会上，李灿作了离场电催化全分解硫化氢制氢和硫磺技术的研究报告，山东三维化学集团股份有限公司总经理郝文亮作了离场电催化全分解硫化氢制氢和硫磺技术的工作报告，现场考核专家组组长、中国科学院大学郝郑平教授作了离场电催化全分解硫化氢制氢和硫磺技术的中试装置考核报告。评价委员会专家详细审查了查新报告及相关评价材料，并与科研团队、合作企业等进行了深入的交流、讨论。最后，评价委员会专家一致认为，该成果达到国际领先水平。一致同意通过评价。建议扩大装置规模，加快推广应用。



科技成果评价会后，我所举行了离场电催化全分解硫化氢制氢和硫磺技术科技成果媒体见面会，黄延强主持会议。新华社、中央电视台、中央人民广播电台、光明日报、经济日报、中国日报、科技日报、中国新闻社、中国科学报、人民网、光明网、中国网、瞭望新闻周刊、中国化工报、中国能源报、新京报、大公文汇报等媒体记者出席了媒体见面会。会上，我室王庆楠副研究员简要介绍了离场电催化全分解硫化氢制氢和硫磺技术情况，记者就感兴趣的问题与科技成果评价委员会专家、科研团队成员、企业代表等进行了交流。



当前，以天然气、石油、煤炭等一次能源为主体的全球能源体系的发展正面临着硫化氢排放所带来的环境挑战。作为一种剧毒化合物，硫化氢容易被氧化为二氧化硫并形成酸雨，危害生态环境和人体健康。它主要伴生或副产于天然气开采、炼油化工行业和煤化工过程。据不完全统计，我国每年处理的硫化氢量约 80 亿立方米，全球范围内年处理量超过 700 亿立方米，潜在待处理量超过 4 万亿立方米（数据来源：中国硫酸工业协会、华经产业研究院）。因此，实现硫化氢的完全消除与资源化利用，一直是天然气开采、炼油化工行业、煤化工等工业过程中长期面临的难题。

为解决上述难题，李灿院士团队自 2003 年起便致力于探索利用光、电等非常规手段分解硫化氢。经过十余年实验室研发，团队成功解决了规模化分解硫化氢工程放大问题，研发出具有我国自主知识产权的“离场电催化全分解硫化氢制氢和硫磺技术”。

该技术在反应空间上解耦化学反应和电荷传输，利用电子介导将电极表面反应移离电极，在电极外的反应器中分别完成硫化氢氧化制硫磺和质子还原产氢。这一设计有效避免了硫磺在电极表面沉积及污染电池隔膜的难题，排除了催化剂表面气泡粘附析氢反应的影响，发明了电催化制化学品的新反应模式。目前，该项技术已申请 26 项专利，其中 12 项已获授权，具有完全自主知识产权。

基于该技术，李灿团队还联合山东三维化学集团股份有限公司、榆林中科洁净能源创新研究院、灏鸣能源科技(大连)有限公司合作，在煤化工领域开展了 10 万方/年硫化氢消除与资源化利用的工业示范项目。其主要包含四个方面的技术创新：离场电催化全分解硫化氢制氢和硫磺技术；高效率、高稳定性的电化学池及系统；高转化率、高效分离的硫化氢氧化熔融一体反应系统；高品质硫磺和高纯氢气回收技术。

该工业示范项目以河南能源集团新乡中新化工 20 万吨/年甲醇装置中副产的硫化氢为原料，采用撬装模块设计，由硫化氢氧化生产硫磺、质子还原产氢和电化学池三个主体单元构成。连续运行时间超过 1000 小时，实现了硫化氢完全转化（尾气中硫化氢含量小于 1 ppm），产品硫磺纯度大于 99.95%、氢气纯度大于 99.999%。既消除了硫化氢的污染，又实现了污染物的资源化利用，社会效益显著。

根据科技查新报告和国内外现行工业情况，此前未见同类技术报道，“离场电催化全分解硫化氢制氢和硫磺技术”属该领域具有自主知识产权的原创性技术。

该技术为硫化氢的完全消除与资源化利用提供了全新路径，最大程度处理硫化氢等污染排放物，有效保护了生态环境，实现“制氢+硫磺”的双重资源化收益，拓宽了工业领域清洁低碳氢的生产路径。

与此同时，这项技术也对我国氢能产业及低碳能源体系建设具有积极推动作用，兼具环境与经济效益。

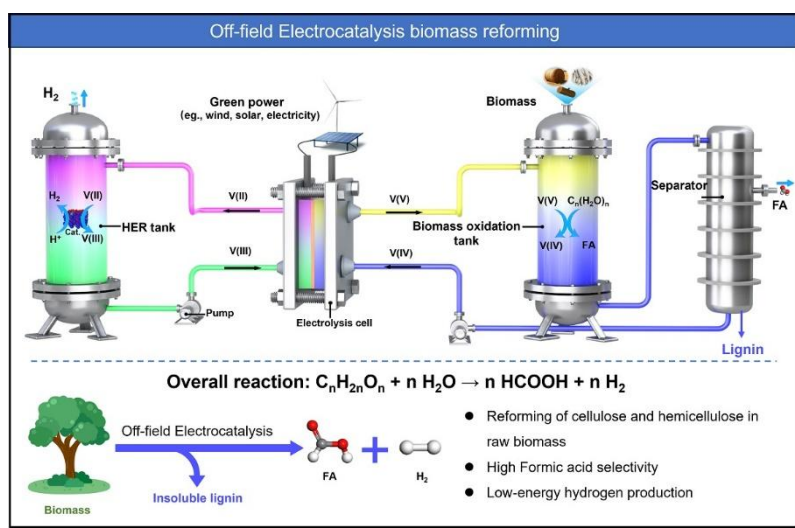
据国际氢能协会预测，到 2030 年，我国绿氢规划产能约 180 万吨。若采用风光电驱动该技术，处理我国每年约 80 亿立方米的硫化氢，可在消除污染的同时回收约 73 万吨清洁低碳氢，相当于绿氢规划产能的 40%，对推动相关行业实现“双碳”目标具有重要意义。（文/王庆楠 图/岳伟）

\*\*\*\*\*

## 我室通过离场电催化策略实现生物质高选择性重整转化为 甲酸和氢气

近日，我室太阳能研究部（DNL16）李灿院士团队在生物质资源化利用研究方面取得新进展。团队发展了一种基于双钒氧化还原电对的“离场电催化”新策略，将秸秆、玉米芯等难溶的原始生物质在温和条件下高效转化为氢气与甲酸（90% 选择性，唯一液相产物）。该技术为生物质资源的大规模、高值化利用提供了一条有工业化前景的新路径。

利用生物质生产氢气和化学品是实现“双碳”目标的重要方向，目前广泛流行的热催化生物质重整技术需要在高温下进行，存在结焦产物及高耗能等缺点，同时会得到难以分离提纯的一氧化碳（CO）、二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、氢气（H<sub>2</sub>）等混合气体。传统电催化方法面临反应物在电极表面传质效率低导致性能下降，以及难以直接大规模处理固体生物质原料等问题。如何实现原始生物质的直接、高效、高选择性转化，一直是该领域待解的难题。



针对上述难题，研究团队创新性地提出了“离场电催化”概念。该策略利用两对钒基氧化还原电对作为“化学搬运工”，将发生在电极上的反应转移至均相溶液中进行，实现了电荷转移和化学反应在空间上的分离。其中，阳极产生的钒（V）电对可精准切断纤维素和半纤维素中的碳-碳键，通过逐步氧化将其高效转化为单一产物甲酸；阴极的钒（II）电对则高效催化质子还原产氢，法拉第效率接近100%。消耗后的电对在电化学池中再生，实现持续运行。这一策略应用于原始生物质颗粒（由纤维素、半纤维素、木质素组成）的直接转化，其中纤维素、半纤维素重整为氢气和甲酸，不溶的木质素被分离出来。该策略具有三大优势：一是反应电压低于传统电解水，能耗成本低；二是联产甲酸，提升过程经济性；三是其反应与再生元空间解耦的设计，可兼容现有化工设备（例如固定床反应器、液流电池），为大规模应用提供了可行性验证。

上述成果以“Biomass Reforming to H<sub>2</sub> and Formic Acid via an Off-field Electrocatalysis”为题，于近日发表在《化学工程杂志》（*Chemical Engineering Journal*）上。该工作的第一作者是我室 DNL16 博士研究生屈晓雷。上述工作得到国家自然科学基金、国家自然科学基金委“人工光合成”基础科学中心项目、大连科技人才创新项目等支持。（文/图 屈晓雷）

文章链接: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.172389>

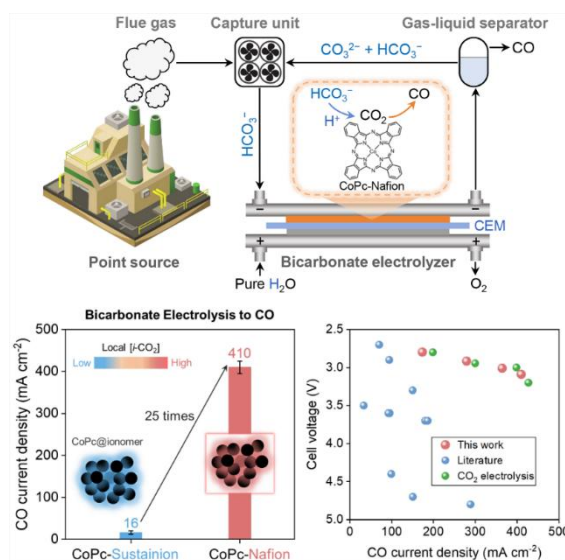
\*\*\*\*\*



## 我室提出反应微环境调控策略实现高效二氧化碳捕集-电解一体化制一氧化碳

近日，我室纳米与界面催化研究中心（502 组群）包信和院士、高敦峰研究员、张国辉副研究员等与复旦大学汪国雄教授合作，在二氧化碳（CO<sub>2</sub>）电催化转化方面取得新进展，利用离聚物调控催化反应微环境，实现了碳酸氢盐介导的高效 CO<sub>2</sub> 捕集-电解一体化制 CO，为低能耗、大规模的工业烟道气 CO<sub>2</sub> 资源化利用提供了新思路。

工业烟道气 CO<sub>2</sub> 捕集与转化是实现国家“双碳”目标的关键路径。传统工艺通常采用“捕集-释放-压缩-电解”的串联路线，流程复杂、能耗和成本高。碳酸氢盐介导的 CO<sub>2</sub> 捕集-电解一体化路线是一种新兴的反应性碳捕集（Reactive carbon capture, RCC）技术。该路线将 CO<sub>2</sub> 的捕集过程与电催化转化过程耦合，可降低获取高纯 CO<sub>2</sub> 原料气的能耗和成本，但如何实现高效的碳酸氢盐捕集液电解是制约其走向实际应用的瓶颈。



在本工作中，研究团队利用离聚物修饰酞菁钴（CoPc）电极来调控催化反应微环境，从而提高了碳酸氢盐电解性能。在基于阳离子交换膜的零间隙电解器中，全氟磺酸树脂修饰的电极（CoPc-Nafion）在 3.09 V 的低电解电压下实现了 410 mA/cm<sup>2</sup> 的 CO 分电流密度。该电解性能与使用高纯原料气的 CO<sub>2</sub> 电解相当。电极结构表征和有限元模拟结果表明，全氟磺酸树脂的质子传导性提高了 CoPc 催化剂附近原位生成 CO<sub>2</sub>（*in situ* generated CO<sub>2</sub>）的局部浓度，从而实现了优异的碳酸氢盐电解制 CO 性能。团队进一步利用 CoPc-Nafion 电极和模拟烟道气展示了捕集-电解循环过程，凸显了碳酸氢盐介导的 CO<sub>2</sub> 捕集-电解一体化路线的应用潜力。

相关研究成果以“*Ionomer-Driven Reaction Microenvironment Control in Bicarbonate-Mediated Integrated CO<sub>2</sub> Capture and Electrolysis*”为题，于近日发表在《德国应用化学》（*Angewandte Chemie International Edition*）上。该工作的第一作者是我室 523 组与复旦大学联合培养博士研究生荣佑文。上述工作得到国家重点研发计划、国家自然科学基金、中国科学院 B 类先导专项“能源电催化的动态解析与智能设计”、辽宁滨海实验室、辽宁省兴辽英才计划、大连市杰出青年科技人才支持计划、我所创新基金等项目的支持。（文/图 高敦峰、荣佑文）

文章链接: <https://doi.org/10.1002/anie.202523118>

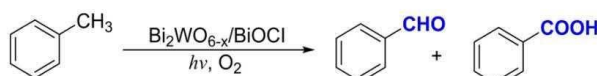
\*\*\*\*\*

## 我室通过光催化选择性氧化 C(sp<sup>3</sup>)-H 键制备醛/酮

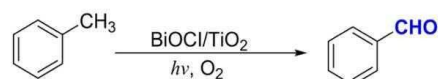
近日，我室太阳能研究部（DNL16）李灿院士团队在光催化制备高价值化学品研究方面取得新进展。团队发展了一种无需金属参与、条件温和、操作简单、成本低廉的光催化体系，实现了 C(sp<sup>3</sup>)-H 键到醛/酮的高效、高选择性氧化，特别是在制备容易过氧化的醛类化合物方面表现出优异的性能（选择大于 90 %）。该技术为光催化直接活化 C(sp<sup>3</sup>)-H 键制备高价值化学品方面提供了一条有前景的新路径。



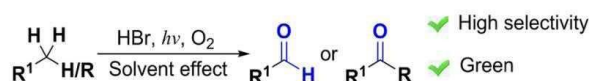
a) The photochromic nanosheets for photocatalytic oxidation of toluene (Li et al. *Nat. Catal.* **2018**, 1, 704-710)



b) The heterojunction photocatalysts of BiOCl/TiO<sub>2</sub> for toluene oxidation (Our group: *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, 145, 16852-16861)



c) This work:



在化学品行业和有机合成中，将碳氢化合物中的惰性 C(sp<sup>3</sup>)-H 键选择性氧化为含氧化学品（尤其是高附加值的醛类）是一项极具挑战且重要的反应。醛类化合物是香料、增塑剂、染料、阻燃剂和药物制造中的关键原料。然而，由于

C(sp<sup>3</sup>)-H 键键能高 (70–130 kcal mol<sup>-1</sup>)，且醛类本身易被过度氧化为羧酸甚至 CO<sub>2</sub>，传统方法通常依赖化学计量的强氧化剂或苛刻条件 (高温高压) 下使用特定的贵金属配合物，存在效率低、环境不友好等问题。光催化利用太阳能作为驱动力，在温和条件下实现 C-H 键的选择性氧化是一条有前景的途径。

针对上述难题，研究团队提出了一种光催化体系，在常温常压有氧环境下温和的实现 C(sp<sup>3</sup>)-H 键高选择性氧化制备醛/酮。该体系以 0.25 mol% HBr 为介导剂、CH<sub>3</sub>CN 为溶剂、O<sub>2</sub>为氧化剂，在 λ > 320 nm 光照射下，可高效活化 C(sp<sup>3</sup>)-H 键。在甲苯氧化为苯甲醛的反应中，选择性高达 95%，生成速率达 175 mmol g<sub>HBr</sub><sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>，转换数 (TON) = 29.6。适用于甲苯衍生物、脂肪族和芳香族烷烃等多种底物，且无需复杂催化剂制备。克级实验验证了该方法的可扩展性，为惰性 C(sp<sup>3</sup>)-H 键的绿色氧化提供了经济的方案。

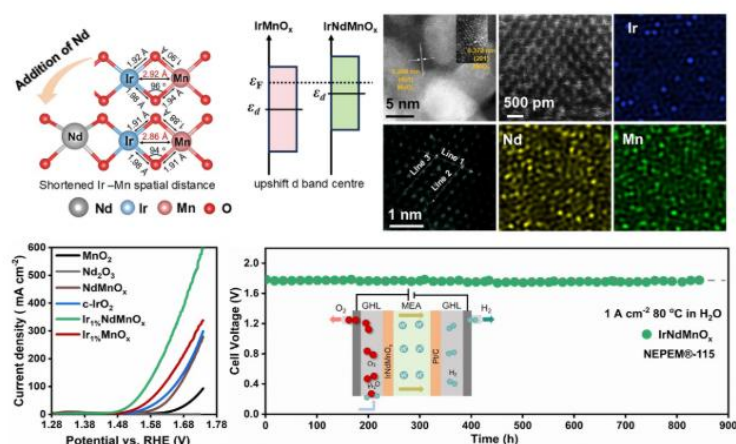
上述成果以 “Selective Photo-oxidation of C(sp<sup>3</sup>)-H Bonds to Aldehydes/Ketones with O<sub>2</sub>” 为题，于近日发表在《ACS Catalysis》。该工作的第一作者是我室 503 博士后雷文龙。上述工作得到国家自然科学基金、人工光合成基础科学项目、国家重点研发计划等的支持。(文/图 雷文龙)

文章链接: <https://doi.org/10.1021/acscatal.5c07613>

\*\*\*\*\*

## 我室通过钆诱导双位点协同策略实现高效酸性析氧

近日，我室太阳能研究部 (DNL16) 李灿院士团队在低铈酸性析氧催化剂研发方面取得重要进展。研究团队通过钆 (Nd) 掺杂，提出了“活性位点间距-吸附强度”协同调控新策略，所制备的 IrNdMnO<sub>x</sub> 催化剂同步实现了活性与稳定性的突破，质量活性达 769 A g<sup>-1</sup>，且铈溶出率显著降低。该工作为设计低成本、高性能的电解水制氢阳极催化剂提供了新范式。





质子交换膜水电解 (PEMWE) 是实现绿氢制备的关键技术, 但其阳极析氧反应 (OER) 亟需兼具高活性与高稳定性的低铱催化剂。当前铱基催化剂面临资源稀缺与降载导致性能下降的根本矛盾。这极大限制了 PEM 电解水技术的大规模应用。研究团队长期深耕于电催化水分解及其表面催化机制研究 (代表性工作包括: Nat. Catal., 2018; ACS Catal., 2018; Nano Energy, 2018; Angew. Chem. Int. Ed., 2019; Small, 2022; Chem. Sci., 2022; J. Am. Chem. Soc., 2023; Angew. Chem. Int. Ed., 2023), 相关成果在领域内获得了广泛关注。此外, 研究团队自主研发的新一代碱性电解水催化剂已装配于千立方/小时电解水制氢装置, 并应用于兰州新区千吨级太阳燃料工业化示范工程项目, 相关成果受到工业界广泛关注。

本工作聚焦于构建铱锰双活性位点协同的基础上, 引入稀土钕 (Nd) 对 Ir-Mn 活性单元进行电子与几何结构的双重调控。结果表明, 所制备的 IrNdMnO<sub>x</sub> 催化剂表现出显著增强的综合性能: 其面积比活性达到商用 IrO<sub>2</sub> 的 2.3 倍, 同时铱溶出量较未掺杂的 IrMnO<sub>x</sub> 降低 50%, 实现了活性与稳定性的协同优化。综合表征与机理研究揭示, 这一性能提升源于 Nd 掺杂诱导形成的不对称 Nd-O-Ir-O-Mn 配位构型。该结构通过促进电子再分布与缩短 Ir-Mn 间距, 强化了双金属协同催化; 同时有效抑制了晶格氧参与, 从而延缓了结构降解, 保障了铱基骨架在酸性环境中的长期稳定性。本工作可为今后电催化剂体系的理性设计提供借鉴。

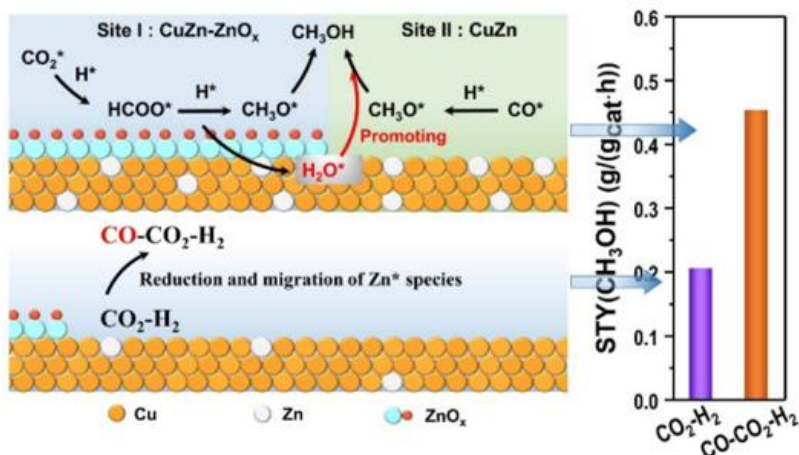
上述成果以“NdO-Intensified Dual-Site Synergy in IrMnO<sub>x</sub> for Acidic Oxygen Evolution”为题, 于近日发表在《Angewandte Chemie International Edition》。该工作的第一作者为我室李灿院士指导的兰州大学博士赵春阳。该工作得到国家重点研发计划、甘肃省科技重大专项计划、甘肃省科技创新人才项目的资助。(文/图 赵春阳)

文章链接: <https://doi.org/10.1002/ange.202520973>

\*\*\*\*\*

## 我室通过 CO 诱导的 Cu-ZnZrO<sub>x</sub> 催化剂重构实现 CO/CO<sub>2</sub> 协同共加氢制甲醇

近日, 我室太阳能研究部 (DNL16) 李灿院士团队在 CO<sub>2</sub> 资源化利用领域取得重要进展。研究团队通过系统研究 CO-CO<sub>2</sub> 混合气加氢反应, 发现在 CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> 原料气引入 CO 可诱导催化剂发生动态结构重构, 显著促进 CO<sub>2</sub> 与 CO 的协同转化, 使甲醇产率提升高达 2.2 倍。该工作为设计适用于碳高效甲醇合成催化剂提供了新思路。



利用可再生 H<sub>2</sub> 催化 CO<sub>2</sub> 加氢制甲醇被认为是实现碳中和的一条有前景的路径。甲醇合成反应与逆水煤气变换反应 (RWGS) 存在竞争，反应结果强烈依赖于压力和温度。在工业操作过程 (高压 (~5 MPa) 和中温 (473–573 K)) 过程中，RWGS 反应在热力学上占优势，不可避免产生 CO，这对高效的 CO<sub>2</sub> 制甲醇转化提出了重大挑战。尽管 CO 的产生不可避免，但 CO 对 CO<sub>2</sub> 加氢性能的影响却很少受到关注。

针对上述问题，研究团队探究了 CO 对 CO<sub>2</sub> 加氢合成甲醇的影响。研究发现，在 Cu-ZnZrO<sub>x</sub> 催化剂中，在 CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> 原料气中引入 CO 可协同促进 CO<sub>2</sub> 和 CO 的加氢反应。综合表征与机理研究发现，CO 促进 Zn 物种还原并迁移至 Cu 表面，诱导催化剂重构形成丰富 CuZn 合金-ZnO<sub>x</sub> 界面位点，稳定 Cu<sup>+</sup> 位点。这些界面实现了协同的双路径机制：CO<sub>2</sub> 主要在合金-ZnO<sub>x</sub> 位点通过甲酸盐路径加氢；而 CO 在 Cu 位点通过甲酰基路径加氢。CO<sub>2</sub> 反应产生的水可进一步促进 CO 路径中决速步 CH<sub>3</sub>O\* 物种的转化，从而实现 CO-CO<sub>2</sub> 混合原料气中高效甲醇合成。本工作为高效甲醇催化剂的理性设计提供了思路。

上述成果以 “CO-Induced Reconstruction of Cu-ZnZrO<sub>x</sub> Catalyst Enables Synergistic CO<sub>2</sub>/CO Co-Hydrogenation to Methanol” 为题，于近日发表在《Angewandte Chemie International Edition》。该工作的第一作者是兰州大学先进催化中心博士研究生吴晓静。上述工作得到国家重点研发计划、国家自然科学基金、甘肃省科技创新人才项目等的支持。（文/图 吴晓静）

文章链接: <https://doi.org/10.1002/anie.202525886>

\*\*\*\*\*

## 新闻动态

### 我室研究团队及多名科研人员和研究生获 2025 年度冠名奖

为进一步表彰先进、提振精神、凝聚合力，根据《中国科学院大连化学物理研究所冠名奖管理办法》，经所党委会审议、所务会研究决定，我室李灿院士团队及多名科研人员和研究生获 2025 年度冠名奖：

技术攻关奖： 碱水电解制氢技术团队（团队负责人：李灿）

青年才俊奖： 崔晓菊（509），窦浩桢（DNL2900），宋月锋（502）

优秀导师奖： 杨维慎（504）

优秀研究生奖： 付云凡（523），谢威立（504）

所网站新闻：<https://i.dicp.ac.cn/info/1141/24002.htm>

\*\*\*\*\*

## 队伍建设

### 我室罗磊、王吉章被聘为“张大煜青年学者”

根据《大连化物所“张大煜学者”计划管理办法》（化物所发〔2024〕99号），院有关人才项目入选者罗磊（DNL1621）、王吉章（DNL1621）被聘任为“张大煜青年学者”（聘期五年）；同时，也被聘任为研究员。

\*\*\*\*\*