

# 公示材料

**项目名称：**3d 过渡金属基水滑石衍生复合氧化物的构筑及其催化性能研究

**提名者：**太原理工大学

**提名意见：**

该项目材料及成果真实有效。项目研究面向国家及区域经济社会发展需求，立足燃煤污染控制及精细化工绿色发展，基于类水滑石衍生复合氧化物的优异结构及其理化性能，围绕 3d 过渡金属类水滑石开展系统的设计构筑与性能调控，聚焦氨选择性催化还原 NO<sub>x</sub> 和糠醛、乙酰丙酸的高值转化，建立了催化剂表面结构特性与催化性能间的构效关联，明确了水滑石基高性能催化剂的构筑原则。研究通过新催化材料构筑和新机理解析为燃煤污染物控制及生物质平台分子高值化利用提供了重要技术积累和数据参考，为山西省推进煤炭清洁高效利用及转型发展作出了积极贡献。项目研究提出的很多重要研究见解到了同行的广泛认可和正面引用，先后得到 7 项国家、省部级基金项目的支持，授权中国发明专利 10 项，出版学术专著 1 部，5 篇代表性论文被 SCI 他引 405 次，代表作论文 4 入选 ESI 高被引论文。

## 项目简介:

项目所属科学技术领域、主要研究内容、科学价值及同行引用评价情况

本成果属于催化研究领域。

项目基于类水滑石衍生复合氧化物的优异结构及理化性能，围绕污染物  $\text{NO}_x$  高效脱除，糠醛、乙酰丙酸平台分子高值化利用，苯甲醇高效选择氧化，聚焦 3d 过渡金属类水滑石衍生催化剂开展了系统的结构与性能调控。主要研究内容如下：

1. 协调组装 CNTs 与 CuAl-LDHs，借助水滑石层板晶格限域及 CNTs 对水滑石层板的有效阻隔，减缓类水滑石焙烧过程中的层板聚积和堆叠，强化催化剂表面  $\text{CuO}_x$  活性组分的稳定分散，丰富碳掺杂铜基氧化物催化剂的制备方法，发展构筑高性能铜基氧化物 SCR 脱硝催化剂。

2. 借助类水滑石层板阳离子的可搭配性以及层间阴离子可交换性衍生制备 Co(Mn)Al-LDO 脱硝催化剂，明确 CoAl-MnO<sub>2</sub>-LDH 构筑的适宜条件，揭示类水滑石模板法对衍生催化剂 SCR 活性及选择性的协同优化机制，理解离子交换法制备 CoMnAl 氧化物催化剂 SCR 脱硝优势。

3. 经类水滑石模板法衍生制备的  $\text{CuMO}_x$  (M=Al, Cr, Fe) 及  $\text{MFe}_2\text{O}_4$  (M=Cu, Ni, Co, Zn) 催化剂分别应用于糠醛、乙酰丙酸平台分子的高值化利用及苯甲醇高效选择氧化制苯甲醛，明确类水滑石模板强化复合氧化物催化剂金属间的协同作用规律，揭示协同功能组分对目标产物选择性的优化机制。

研究成果通过对催化材料合成-结构性质解析-催化性能关联的认识和理解，为 3d 过渡金属基类水滑石衍生催化剂的应用提供重要支撑，更为燃煤污染物控制及生物质平台分子高值化利用提供重要技术积累和数据参考。先后授权中国发明专利 10 项，出版学术专著 1 部，5 篇代表性论文被 SCI 他引 405 次，代表作论文 4 入选 ESI 高被引论文。

### 代表性论文专著目录:

[1] Insight into Cu<sub>2</sub>O/CuO collaboration in the selective catalytic reduction of NO with NH<sub>3</sub>: Enhanced activity and synergistic mechanism; 作者: Wu, X (Wu, Xu); Meng, H (Meng, Hao); Du, YL (Du, Yali); Liu, JN (Liu, Jiangning); Hou, BH (Hou, Benhui); Xie, XM (Xie, Xianmei); 来源出版物: JOURNAL OF CATALYSIS 卷: 384 页: 72-87 出版年: 2020 年 4 月.

[2] Fabrication of Highly Dispersed Cu-Based Oxides as Desirable NH<sub>3</sub>-SCR Catalysts via Employing CNTs to Decorate the CuAl-Layered Double Hydroxides; 作者: Wu, X (Wu, Xu); Meng, H (Meng, Hao); Du, YL (Du, Yali); Liu, JN (Liu, Jiangning); Hou, BH (Hou, Benhui); Xie, XM (Xie, Xianmei); 来源出版物: ACS APPLIED MATERIALS & INTERFACES 卷: 11 期: 36 页: 32917-32927 出版年: 2019 年 9 月.

[3] Enhancing DeNO<sub>x</sub> performance of CoMnAl mixed metal oxides in low temperature NH<sub>3</sub>-SCR by optimizing layered double hydroxides (LDHs) precursor template; 作者: Wu, X (Wu, Xu); Feng, YL (Feng, Yalin); Du, YL (Du, Yali); Liu, XZ (Liu, Xuezheng); Zou, CL (Zou, Chunlei); Li, Z (Li, Zhe); 来源出版物: APPLIED SURFACE SCIENCE 卷: 467 期: 15 页: 802-810 出版年: 2019 年 2 月.

[4] A noble-metal free Cu-catalyst derived from hydrotalcite for highly efficient hydrogenation of biomass-derived furfural and levulinic acid; 作者: Yan, K (Yan, Kan); Liao, JY (Liao, Jiayou); Wu, X (Wu, Xu); Xie, XM (Xie, Xianmei); 来源出版物: RSC ADVANCES 卷: 3 期: 12 页: 3853-3856 出版年: 2013 年 3 月.

[5] Facile synthesis and catalytic property of spinel ferrites by a template method; 作者: Yan, K (Yan, Kan); Wu, X (Wu, Xu); An, X (An, Xia); Xie, XM (Xie, Xianmei); 来源出版物: JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS 卷: 552 页: 405-408 出版年: 2013 年 3 月.

## 客观评价:

(1) 北京科技大学唐晓龙教授在其综述文章 (Sep. Purif. Technol., 2025, 357: 130103) 中高度评价了本项目碳掺杂铜基氧化物催化剂的构筑方法, 充分肯定了提高活性组分分散性同时调控活性物种价态分布的策略, 为协同优化催化剂氧化还原性及表面酸性提供了重要参考。(代表性论文 1)

(2) 北京科技大学赵顺征教授在其综述文章 (J. Clean Prod., 2024, 436 140635) 中代表性介绍了本项目碳纳米管与类水滑石原位组装的创新方法, 该方法借助 CNTs 对铜基水滑石的层间阻隔作用, 显著优化活性组分分散性的同时有效降低了硫酸铵盐的热稳定性, 使催化剂展现出优异的脱硝活性和抗硫性能。(代表性论文 2)

(3) 北京林业大学王强教授在其综述文章 (J. Haz. Mat., 2020, 400: 123206) 中大篇幅介绍了本项目通过离子交换/氧化还原法制得 CoAl-MnO<sub>2</sub>-LDHs 衍生构筑 MnO<sub>2</sub>/CoAl-LDO 脱硝催化剂的研究工作, 通过与目前典型催化剂脱硝性能进行列表比较, 突显了类水滑石层间阴离子交换性制备 SCR 催化剂的优势。(代表性论文 3)

(4) 法国里尔大学 Franck Dumeignil 和 Sebastien Royer 教授在其共同发表的综述文章 (Chem. Rev., 2018, 118: 11023) 中高度评价了本项目含铜类水滑石 (CuAl、CuCr、CuFe) 衍生复合金属氧化物用于生物质糠醛选择性加氢制糠醇和 2-甲基咪喃的研究, 并强调通过添加功能助剂调变 Cu 活性中心电子环境, 能有效促进 -CHO 官能团在金属表面的配位, 调节活性部位的电子环境, 从而改变反应物分子和活性相表面之间的键合, 实现目标产物的高选择性。(代表性论文 4)

(5) 印度 CSIR-国家化学实验室 Chandrashekhar V. Rode 教授在其研究论文 (Green. Chem., 2019, 21: 6390) 中借鉴本项目经水滑石模板合成 CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 尖晶石的方法强化铜铁间协同作用, 将合成催化剂应用于 5-HMF 选择性加氢制 2,5-DMF, 高催化效率归因于铁的亲氧性和 Lewis 酸性, 定向加氢产物 DMF 的高选择性归因于氧化铜的 Brønsted 酸性及其对 C-O 键的亲合力。(代表性论文 5)

### 主要完成人情况：

第一完成人：吴旭 太原理工大学

第二完成人：安霞 太原理工大学

第三完成人：杜亚丽 晋中学院

第四完成人：廖家友 太原理工大学

第五完成人：谢鲜梅 太原理工大学

### 完成人合作关系说明：

**吴旭：**负责项目的整体设计，提出并凝练学术思想。系统研究了3d过渡金属基水滑石衍生复合氧化物的合成-结构-性能之间的关联规律，发现点1、2、3、4的主要完成者。对本项目重要科学发现均有创造性贡献，在提供的5篇代表性论文中，是第1、2、3篇论文的第一及通讯作者，第4篇论文的第三作者，第5篇论文的第二作者。

**安霞：**对本项目部分科学发现有重要贡献，完成了其中2类代表性反应的结构调变与性能调控研究。发现点4的主要完成者。在提供的5篇代表性论文中，是第5篇论文的第三作者。

**杜亚丽：**对本项目部分科学发现有重要贡献，发现点1和2的主要完成者。在提供的5篇代表性论文中，是第1、2、3篇论文的第三作者。

**廖家友：**对本项目部分科学发现有重要贡献，发现点3的主要完成者。在提供的5篇代表性论文中，是第4篇论文的第二作者。

**谢鲜梅：**负责项目部分研究内容的设计，发现点3、4主要完成者。在提供的5篇代表性论文中，是第4、5篇论文的通讯作者。