

## 2024 年度云南省科技奖提名项目公示信息

项目名称	汽车尾气多污染物协同催化净化机制			
主要完成单位	昆明贵金属研究所，昆明理工大学，昆明贵研催化剂有限责任公司			
提名者	云南省贵金属新材料控股集团股份有限公司			
提名等级	云南省自然科学奖二等奖			
项目主要完成人	王成雄，赵晗，杜君臣，郑婷婷，赵云昆			
主要完成人基本情况				
序号	姓名	所在单位	职称	职务
1	王成雄	昆明贵金属研究所	正高级工程师	无
2	赵晗	昆明理工大学	讲师	无
3	杜君臣	昆明贵研催化剂有限责任公司	正高级工程师	乘用车产品研发中心主任
4	郑婷婷	昆明贵研催化剂有限责任公司	高级工程师	无
5	赵云昆	昆明贵金属研究所	研究员	环保催化应用基础研究室主任

### 项目简介

本项目属汽车尾气污染治理领域。十五年来，中国汽车尾气排放法规对污染物排放限值的持续加码，并先后新增了非甲烷碳氢化合物（NMHC）、颗粒物（Particulate Matter, PM）、一氧化二氮（ $N_2O$ ）、氨（ $NH_3$ ）等污染物的排放限值要求。传统后处理技术无法应对超低排放和  $N_2O/NH_3/PM$  等多污染物协同净化需求带来的挑战。为此，项目围绕多污染物协同净化机制、化学键活化与定向重构、催化活性与高温稳定性平衡等开展了深入研究，主要科学发现如下：

1. 揭示了多场耦合作用下  $NO_x/NH_3/N_2O$  的动态化学平衡机制，阐明了  $NO_x-PM$  协同催化净化机理，为多污染物协同控制技术应用奠定基础。

首次提出催化剂表面羟基化诱导  $NH_3$  生成机理，阐明了含氮气态污染物的高效协同净化机制及催化反应路径，揭示了活性材料界面氧物种对  $NO_x-PM$  协同消除的催化机制，构建了三效催化剂性能的特征描述符，提出了抑制副产物氨生成的控制策略。中国环境科学研究院丁焰研究员等认为“所报道的氨生成机理为开发下一代氨抑制催化剂奠定了理论基础”，教育部“长江学者”王建礼教授等指出：“Zhao 等提出了一种抑制副产物  $NH_3$  生成的有效措施”。

2. 阐明了促进 N-H、N-O、C-H、C-C 化学键低温活化与  $N\equiv N$  化学键定向重构的局域活性

**结构调控机制，为高活性、高 N<sub>2</sub> 选择性催化剂设计提供指引。**

发现了 Pt<sup>δ+</sup>-MO<sub>x</sub> 表界面晶格氧对缺电子 Pt<sup>δ+</sup> 位点活化 N-H、N-O、C-H、C-C 键及重构 N≡N 键的促进效应，提出了还原性金属离子 (M<sup>δ+</sup>) 缺陷调节氧空位动力学的通用方法。发现了金属颗粒表面扭曲效应对甲烷 C-H 键活化位点形成的促进现象，阐明了高电负性非金属助剂对 Pd 化学态与分散性的调变原理，拓展了 Pd 的分布、形貌、尺寸和电子状态对 C-H 键活化作用的认识。德国 Hartmann 教授指出：“这些研究为认识 Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂体系在甲烷氧化反应中的作用和性能提供了历史性的见解”。

**3. 构建了三效催化剂寿命预测方法，发展了催化活性与高温稳定性的兼容策略，为实现高可靠汽车尾气催化剂创制提供支撑。**

发展了元素差别化显色的催化剂微纳结构可视化测定新方法，基于活性贵金属二次烧结动力学模型构建了催化剂寿命预测方法，系统阐释了催化剂组成、贵金属-稀土（氧化铝）界面结构对低温催化反应活性与高温稳定性“跷跷板效应”的影响规律，拓展了高活性、高稳定性的汽车尾气催化剂设计策略。韩国科学技术研究院 Yoon 教授高度评价“表面 Pt 原子对 CeO<sub>2</sub> 表面晶格氧的活化作用可创造一类新的活性位点而显著提升催化性能”的重要科学发现。

上述科学发现奠定了汽车尾气多污染物协同净化的理论基础。8 篇代表性论文发表在 Environ. Sci. Technol.、Appl. Catal. B Environ.、J. Hazard. Mater. 等国际著名期刊，总他引 180 次，其中 SCI 他引 157 次，引用期刊包括 Energ. Environ. Sci.、Environ. Sci. Technol.、Adv. Sci. 等，授权发明专利 3 件、软件著作权 3 项，完成人入选“云岭学者”等科技人才计划，获全国有色金属优秀青年科技奖、云南青年五四奖章、全国“讲理想、比贡献”活动创新团体。项目成果已在上汽通用五菱、东风柳汽等主机厂实现满足不同阶段排放法规需求的系列催化剂产品配套应用，对保障我国汽车尾气近零排放控制具有重要支撑作用。

### 代表性论文（专著）成果

序号	论文（专著）名称	刊名	发表日期	第一作者 (含共同)	通讯作者 (含共同)
1	Ammonia formation over Pd/Rh three-way catalysts during lean-to-rich fluctuations: The effect of the catalyst aging, exhaust temperature, Lambda, and duration in rich conditions	Environmental Science & Technology	2019年10月02日	王成雄	赵云昆
2	Design of CeMnCu ternary mixed oxides as soot combustion catalysts based on optimized Ce/Mn and Mn/Cu ratios in binary mixed oxides	Applied Catalysis B, Environmental	2020年07月05日	赵晗	赵晗, 赵云昆
3	Performance, structure and kinetics of Pd catalyst supported in Ba modified $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> for low temperature wet methane oxidation	Chemical Engineering Journal	2022年02月15日	杜君臣	赵晗, 赵云昆, 罗永明
4	Ammonia removal in selective catalytic oxidation: Influence of catalyst structure on the nitrogen selectivity	Journal of Hazardous Materials	2021年08月15日	王成雄	赵云昆
5	Turning poison into medicine: NH <sub>3</sub> or urea treatment leads to improved Pd-based three-way catalysts	Chemical Engineering Journal	2021年02月01日	赵晗	赵晗, 朱增赞, 赵云昆
6	A comparative study of Rh-only, Pd-only and Pd/Rh catalysts	Applied Catalysis A, General	2020年07月25日	郑婷婷	赵云昆
7	Activation of surface lattice oxygen in ceria supported Pt/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> catalyst for low-temperature propane oxidation	ChemCatChem	2019年04月18日	王成雄	赵云昆
8	Improved catalytic activity over P-doped ceria-zirconia-alumina supported palladium catalysts for methane oxidation	Catalysis Communications	2020年04月11日	杜君臣	王成雄, 罗永明