

2024 年度云南省科技奖提名项目公示信息

项目名称		汽车尾气三效催化剂贵金属结构调控及多污染物协同控制机制		
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（N₂O）、氨（NH₃）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 N₂O/NH₃/PM 等多污染物协同净化需求带来的挑战。为此，项目围绕 汽车尾气多污染物协同净化机理、三效催化活性-选择性-稳定性“跷跷板”效应、催化剂结构性能特征描述符开展了深入研究，主要科学发现如下：

1、揭示了多场耦合作用下 NO_x/NH₃/N₂O 的动态化学平衡机制，阐明了物相震荡式 PM 消除机制，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 NH₃ 生成机理，阐释了汽车尾气原生、次生污染物的协同净化机制及催化反应路径，揭示了 NO_x/NH₃/N₂O 的动态化学平衡机制并以此提出抑制副产物 NH₃、N₂O 生成的控制策略，阐明了 La₂O₂CO₃ 介导的物相震荡式 PM 消除机制。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”，“长江学者”王建礼教授等指出：“Zhao 等提出了一种抑制副产物 NH₃ 生成的有效措施”。

2、阐明了贵金属结构调控对催化活性、选择性和稳定性的影响规律，为高可靠汽车尾气催

化剂创制提供指引。

发现了 Pd 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，揭示了表面晶格氧对缺电子 Pt 位点活化 N-H、N-O、C-H 键及重构 N≡N 键的促进效应；系统阐释了催化剂组成、贵金属-稀土（氧化铝）界面结构对催化性能的影响规律，形成了活性-选择性-稳定性兼容的催化剂设计策略。德国 Hartmann 教授指出：“这些研究为认识 Pd/Al₂O₃ 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”。韩国科学技术研究院 Yoon 教授高度评价“表面 Pt 原子对 CeO₂ 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”。

3、发明了催化剂可视化分析方法，构建了催化剂结构性能特征描述符，为高性能汽车尾气催化剂应用提供支持。

发明了催化剂宏观结构测定新方法，实现催化剂载体、活性涂层、表面沉积物空间分布的可视化分析；研发出催化转化率、储氧能力、空燃比特性等数据的智能化分析软件，催化性能测试数据处理效率提升 300 倍，构建了催化剂寿命预测方法。葡萄牙波尔图大学 Soares 教授指出：“整体式催化剂宏观结构测定是分析不同活性涂层的有效手段”。

项目共发表学术论文 70 篇，20 篇核心论文中 17 篇发表在国际 JCR Q2 区及以上期刊，其中 8 篇代表性论文发表在 Environ. Sci. Technol.、Appl. Catal. B、Chem. Eng. J.、J. Hazard. Mater. 等环境领域顶级期刊，被 Energy Environ. Sci.、Environ. Sci. Technol.、Adv. Sci. 等权威期刊引用，得到国内外同行知名专家的正面评述；授权发明专利及软件著作权各 3 项，完成人入选“云岭学者”等科技人才计划。形成的理论和方法有效支撑高性能低成本汽车尾气催化剂技术的开发，在长安、五菱、上汽等主流车厂批量应用，实现国产化替代率 20% 以上，2008~2022 年累计配套 1000 多万套，共 2000 多万升，催化剂装车后可使单车尾气污染排放降低 95% 以上，每年可减排 CO、HC、NO_x 和颗粒物排放约 430、58、213 和 8 万吨以上，对社会减排贡献约 8%。经专家组鉴定，一致认为以上项目成果达到国际领先水平。

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 γ -Al ₂ O ₃ 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 ₃ 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 ₂ O ₃ 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