

拟提名 2026 年云南省科学技术奖（自然科学奖）公示材料

一、项目名称：多相反应体系下赤泥基多固废协同的烟气硫硝净化与组分增值基础理论

二、提名者：昆明理工大学

三、提名等级：云南省自然科学奖二等奖

四、项目简介

铝工业、磷化工和涉有机固废等行业为云南省国民经济带来巨大贡献，也带来了严峻的环境挑战。赤泥作为铝工业产生的大宗固废，全球累计堆存量已超过 40 亿吨，我国综合利用率仅约 10%，其高碱高盐特性导致资源化利用率低、环境风险突出。磷石膏作为湿法磷酸生产和磷肥产业的大宗副产物，全球累积排放量约 60 亿吨，我国堆存量超过 7 亿吨，每年新增约 8000 万吨，资源化利用率仅为 40%。黄磷行业产生固废泥磷、各类工业和农林产业也产生巨量固废。上述固废的“增量与存量”双重压力，构成了制约行业可持续发展的关键瓶颈。

针对“赤泥碱性强但脱硫潜力未充分发挥、赤泥单独脱硝活性不足、磷石膏硫资源丰富但分解效率低、多源固废缺乏协同处置路径”等共性科学难题，本项目依托国家重点研发计划子课题、国家自然科学基金等项目的持续支持，通过十年系统性攻关，在国际上首次构建了赤泥/磷石膏多固废协同的烟气净化与组分增值应用理论体系。研究成果突破了赤泥在烟气脱硫脱硝中硫容和传质的限制，首创了赤泥-泥磷耦合协同脱硫脱硝新路径，并在此基础上将脱硫后残渣进一步转化为铁碳吸附材料、胶凝材料及有机固废转化用催化剂等，实现了“烟气净化—有价组分提取—残渣全量化利用”的完整闭环，主要科学发现如下：（1）建立了赤泥基多相反应体系的烟气多污染物净化与传质强化理论。针对赤泥传统利用中活性组分利用率低、反应机制不明的核心问题，首次揭示了赤泥中钙-铁-碱多矿物相在脱硫脱硝过程中的动态重构规律，建立了硫/硝污染物迁移转化的矿物相-活性位点调控模型。创新性提出固体碱活化机制，解析了赤泥中游离碱与结合碱的协同脱硫路径，构建了国际首个涵盖热力学平衡与反应动力学的赤泥脱硫

脱硝全流程预测模型；（2）提出了赤泥-泥磷多固废耦合的协同脱硫脱硝过程调控策略。攻克了单一赤泥对 NO 脱除效率不足的国际难题，首创了臭氧/黄磷/泥磷耦合赤泥浆液的硫硝同步净化技术。通过气-液-固三相传质模型优化，使 SO₂/NO_x 协同脱除效率提升至 95%以上，阐明了 NO 向高价态可溶形态的电子转移-矿物吸附双机制；（3）构建了脱硫后赤泥协同多源固废的全量化与高值化利用方法。赤泥经脱硫脱硝后，剩余硅铝铁残渣的资源化是决定赤泥能否“吃干榨尽”的关键。本项目突破了单一固废处理的局限，提出脱硫后赤泥残渣与多源固废（磷石膏、矿渣及有机类固废等）协同利用的全量化思路，成功研制出赤泥基铁碳吸附材料、赤泥基胶凝材料和高性能催化剂，实现了从“固废治理”到“功能材料”的跨越。

项目共发表 SCI 论文 42 篇（8 篇代表作总他引 494 次，20 篇核心论文他引 822 次）；获授权发明专利 10 件（4 件实现转化），出版专著 1 部。成果丰富了大宗固废赤泥等多途径高值化资源化利用的理论体系，为铝工业和磷化工行业“绿色低碳”提高了理论支撑，助力云南省生态文明建设。

五、代表性论文专著（不超过 8 篇）

序号	代表性论文专著
1	Liu Yu, Li Bin* , Lei Xiaoli, Liu Shuai, Zhu Hengxi, Ding Ermao, Ning Ping*. Novel method for high-performance simultaneous removal of NO _x and SO ₂ by coupling yellow phosphorus emulsion with red mud, <i>CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL</i> , 2021(428), 131991.
2	Li Bin , Wu Heng, Liu Xiaolong*, Zhu Tingyu*, Liu Fagao, Zhao Xingting. Simultaneous removal of SO ₂ and NO using a novel method with red mud as absorbent combined with O ₃ oxidation. <i>JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS</i> , 2020(392), 122270.
3	Li Bin , Liu Yu, Zhao Xingting, Ning Ping*, Liu Xiaolong*, Zhu Tingyu. O ₃ oxidation excited by yellow phosphorus emulsion coupling with red mud absorption for denitration. <i>JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS</i> , 2021(403), 123971.
4	Zhang Yuwei, Qian Wenmin , Zhou Pengxiang, Liu Yu, Lei Xiaoli, Li Bin* , Ning Ping*. Research on red mud-limestone modified desulfurization mechanism and engineering application. <i>SEPARATION AND PURIFICATION TECHNOLOGY</i> , 2021(272), 118867.

5	Tao Lei, Wu Heng, Wang Jie, Li Bin* , Wang Xueqian, Ning Ping. Removal of SO ₂ from flue gas using Bayer red mud: Influence factors and mechanism. JOURNAL OF CENTRAL SOUTH UNIVERSITY, 2019(26), 467-478.
6	Liu Shuai, Liu Zewei , Zhu Hengxi, Wang Zixuan, Guo Junjiang, Zhang Xiaoyue, Yu Hongxin, Yue Xiangdong, Ning Ping, Li Bin* . The roles of red mud as desulfurization and denitrification in flue gas: A review. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL CHEMICAL ENGINEERING, 2023(11), 109770.
7	Yang Tianyu, Zhou Yue , Qi Jiamin, Li Bin* , Liu Zewei* . Biochar derived from coffee grounds with molybdenum disulfide composites for Cr(VI) removal from wastewater. CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL, 2023, 473: 145242.
8	Wang Jie, Li Bin* , Wang Shuping, Liu Tianbao, Jia Boyu, Liu Weizhen, Dong Peng*. Metal-organic framework-derived iron oxide modified carbon cloth as a high-power density microbial fuel cell anode. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, 2022(341), 130725.

注：代表性论文专著需写明：名称、刊物、出版时间、卷页码、通讯作者、所有作者。

六、主要完成人基本情况

序号	姓名	工作单位（完成单位）	职称	职务
1	李彬	昆明理工大学	教授	固体废弃物资源化国家工程研究中心副主任
2	钱文敏	云南省生态环境工程评估中心	正高级工程师	云南省生态环境工程评估中心主任
3	周越	昆明理工大学	副教授	/
4	刘泽伟	昆明理工大学	副教授	/