

2026 年申报有色金属工业协会科技进步奖

项目公示材料

一、项目名称：

矿冶固废协同与 CO₂ 矿化制备低碳建材和充填材料关键技术与应用

二、提名单位：

北京科技大学

三、提名单位意见：

该项目面向我国有色金属工业绿色低碳发展和大宗矿冶固废规模化、高值化利用的重大需求，针对赤泥、锂渣、镁渣、铜渣、金尾矿等固废活性低、组成波动大、CO₂ 矿化效率低、建材化利用性能不足以及矿山充填安全与环境风险等行业共性难题，历经多年产学研联合攻关，形成了多源矿冶固废协同利用与 CO₂ 矿化制备低碳建材和绿色充填材料的成套技术体系。项目在矿冶固废品质稳定与活性提升、CO₂ 矿化反应强化、多源固废协同激发及低碳建材制备、绿色矿山充填材料开发与应用等方面取得了系列创新成果，突破了固废高比例利用条件下材料强度、耐久性、输送稳定性和有害元素固化等关键技术瓶颈。

项目技术路线完整，创新性强，知识产权及标准、论文等支撑材料较为充分，成果已建成多条低碳胶凝材料及固碳建材生产线，并在道路、建筑、海洋工程以及金属矿山、煤矿充填等场景实现规模化应用。项目累计消纳各类固废 1000 万吨以上，近三年形成产值

约 53.16 亿元，在节约天然矿产资源、减少固废堆存占地和环境污染、降低建材生产碳排放、提高矿山采空区稳定性及保障安全开采等方面取得了显著的经济、社会和环境效益，对推动有色金属、建材及矿业行业绿色低碳转型具有重要示范作用和推广价值。

经核查，推荐材料内容真实，相关完成人和完成单位排序及贡献情况明确，无知识产权权属争议，符合有色金属工业科学技术奖推荐条件。学校同意推荐该项目申报有色金属工业科学技术奖科技进步奖。

四、主要完成人：

申培亮、赵英良、王栋民、曲福明、苏博、贺炯煌、刘兆旺、姜义、孙文静、贾小龙、孙晓刚、王学历、陈全秋、危鹏、刘海龙、潘智生

五、主要完成单位：

北京科技大学、武汉理工大学、中国矿业大学（北京）、北京华夏建龙矿业科技有限公司、宁夏交通建设股份有限公司、东北大学、上海百奥恒新材料有限公司、中国建筑东北设计研究院有限公司、山西三元煤业股份有限公司、香港理工大学

六、完成人合作关系说明：

产学研合作，共同知识产权，共同成果验收及论文。

七、项目简介：

有色金属工业是国民经济重要支柱产业，我国十种有色金属产量连续多年位居世界第一，但随之而来的赤泥、锂渣、铜渣、金尾矿等固废产量超过6亿吨，综合利用率不足25%，大量堆存量已超20

亿吨，不仅占用巨额土地资源，更存在重金属迁移、碱性渗漏等重大环境风险，严重制约行业绿色可持续发展。同时，有色冶金是有色金属领域碳排放大户，行业深度脱碳形势严峻，亟需探索固废消纳与碳减排协同治理的变革性路径。针对上述重大需求，项目组在国家科技计划支持下，历经十余年系统攻关，创新提出了实现有色金属冶炼固废（赤泥、锂渣、镁渣、铜渣、金尾矿等）高值化利用为目标，协同配伍利用矿粉、粉煤灰等工业固废，构建多源固废协同与CO₂矿化制备低碳建材和充填材料的一体化技术路径。项目突破了有色金属固废反应活性低、水化速度慢、强度低等核心瓶颈，开发出适用于矿山充填、路面基层、轻质建材等不同场景的系列产品，形成了涵盖固废预处理、组分优化到CO₂矿化养护的全链条技术体系。该技术可以实现有色金属固废大宗消纳和，CO₂永久碳封存，兼具固废消纳、碳减排和绿色建材制备多重效益，为有色金属行业绿色低碳循环发展提供了变革性解决方案，有力支撑国家“双碳”目标和“无废城市”建设。

创新点一：构建了矿冶固废活性提升与品质稳定化技术。发明了有色金属固废活性提升与品质稳定化技术，通过机械-热力-化学驱动矿冶固废晶格畸变活化，使得固废矿物相解离转变，水化和碳化反应活性指数提升至50%；开发了高含水率固废多级高效脱水分散技术和稳定化技术，实现了固废活性提升与品质稳定，解决了工矿固废化学成分波动大、活性低等问题，为有色金属固废等固废的高性能、低成本应用提供了坚实保障。

创新点二：开发了多源矿冶固废加速CO₂矿化技术与成套设备。针对固废碳矿化反应慢的问题，揭示了矿化强化受溶解控制、界面扩散控制与析晶钝化控制的三级制约机理，基于此，开发了基于气

液固三相传质和析晶钝化层定向调控的加速碳矿化技术，设计了捕集-碳矿化一体化连续矿化装备，并通过湿度-温度-碱度协同调控增强，实现在低浓度烟气条件下CO₂单程转化率>60%，可实现15分钟内固碳率>10%，为多源矿冶固废CO₂矿化提供技术支撑。

创新点三：开发了多源矿冶固废协同激发与CO₂矿化制备低碳建材关键技术。攻克了碳矿化诱导矿冶固废多组分活性激发的共性理论难题，揭示了“固碳钙镁-活性硅铝-硫酸盐调控”多相协同胶结硬化机制，提出了基于碱-硫（碳）酸盐协同的化学激发及调控方法，利用以赤泥、锂渣等有色金属固废，协同配伍利用矿粉、粉煤灰等固废作为活性组分补充，创制出抗压强度>50MPa的新型低碳胶凝材料；基于低碳胶凝材料和CO₂加速矿化技术开发出轻质高强骨料、高活性辅助胶凝材料、低碳混凝土制品等系列低碳/负碳绿色建材产品，建成100万吨/年低碳胶凝材料生产线3条，完成骨料、辅助性胶凝材料和混凝土制品的工业化生产，实现在建筑工程、道路工程、海洋工程、模块化集成建筑等推广应用，累计消纳矿冶固废600万吨以上。

创新点四：开发了矿冶固废绿色矿山充填材料制备及应用技术。研发了“固废内源激发-CO₂矿化增强-多元耦合调控-矿山充填应用”一体化技术，利用赤泥、金尾矿粉、铜渣等复合碳矿化赤泥、矿渣等活性组分制备出充填胶凝材料；进一步以尾矿骨料或煤矸石骨料为主要原料，构建了性能可设计矿山充填材料体系，该材料1 d抗压强度可达1 MPa，固废掺量超过95%，碳排放降低90%，有害元素固化率达到99%以上。目前，该技术已在辽宁、河北、山西等地的金属矿山和煤矿实现规模化应用，累计消纳各类固废500余万吨，有力支撑了金属矿山和煤矿的安全高效开采。

项目获授权发明专利40件，主编标准10项，发表论文140余篇。利用该技术率先建成了CO₂捕集-矿化一体化生产线2条，建成100万吨/年低碳胶凝材料生产线3条。成果产品应用于全国首条“全路段/全断面/全层位固废基”乌玛北高速公路、万进金矿、别鲁乌图铜矿、晋能控股三元煤业等工程30余项，近三年产值53.16亿元，消纳固废1100万余吨，减少CO₂排放约500万吨，有力引领了矿冶行业从“高碳高耗”向“低碳低耗”方向发展，为固废利用领域科技进步做出突出贡献。

八、客观评价：

1、技术创新程度

项目针对矿冶固废活性低、组分异质性大、低浓度烟气 CO₂ 矿化效率低、固废协同胶结机制不清、矿山充填材料综合性能不足等行业难题，从固废活化-CO₂矿化-低碳建材制备-矿山充填全链条开展系统研究，揭示多相协同胶结、矿化多级制约等机理，形成固废活化稳定、CO₂加速矿化装备、多源固废协同制备低碳建材、矿山低碳充填成套技术与装备，在理论机制、工艺技术、装备开发、工程应用方面均实现重要创新。技术创新程度高。

2、技术经济指标的先进程度

项目研发的固废胶凝材料水化活性提升 $\geq 90\%$ 、矿化活性提升50%以上、CO₂单程转化率 $> 60\%$ 、15 min 固碳率 $> 10\%$ 、28 d 强度 > 50 MPa、固废掺量 $> 90\%$ 、充填材料 1 d 强度 ≥ 1 MPa、重金属固化率 $> 99\%$ 。技术经济指标先进。

3、技术难度和复杂程度

项目涉及冶金、矿业、材料、环境多学科交叉，需要同时解决固废原料波动、低浓度烟气矿化、多源固废协同激发、充填材料低温早强与重金属固化等多重技术难点，完成机理研究-工艺开发-装备研制-工业化示范全链条攻关。技术难度大、复杂程度高。

4、技术重现性和成熟度

项目形成了原料分质评价、活性提升、CO₂矿化、动态配料、产品制备、质量控制和环境安全评价等较完整的工艺、技术、装备、产业化应用创新体系，相关成果在辽宁、河北、山西等金属矿和煤矿开展规模化应用，已建成年产百万吨级的低碳胶凝材料生产线 3 条、CO₂矿化工业化生产线 2 条。技术重现性好，成熟度高。

5、技术创新对推动行业科技进步和提高市场竞争能力的作用

项目打通有色矿冶固废依托工业烟气 CO₂ 矿化制备低碳建材与充填材料技术路径，丰富矿冶固废活化、CO₂矿化固碳理论体系，为大宗矿冶固废高值低碳利用提供成套技术与装备，推动固废资源化与 CO₂矿化协同耦合，促进建材、矿山充填行业绿色低碳技术科技进步，提升我国固废基低碳工程材料领域技术竞争力。

6、经济、社会效益

项目成果消纳千万吨级有色金属矿冶固废（赤泥、锂渣、镁渣、铜渣、金尾矿等）形成了系列产品，已在道路工程、建筑工程、低碳建材产品生产、矿山充填和生态修复等场景实现工业化应用，累计新增产值 53.16 亿元，新增利润 3.38 亿元。成果有效支撑了绿色建材、低碳交通基础设施、无废城市和绿色矿山建设。经济、社会效益显著。

经中国有色金属学会组织专家评价，项目整体技术达到国际领先水平。

九、推广应用情况：

本项目围绕矿冶固废规模化消纳、建材行业低碳转型和矿山绿色安全开采需求，形成了“固废原料品质处理- CO_2 矿化固碳-低碳胶凝材料/骨料/制品制备-工程场景适配-质量与环境安全控制”的成套推广应用体系。成果通过技术许可、生产线建设、成套装备供货、工程示范和标准化服务等方式，在低碳胶凝材料生产、低碳建材制品、道路工程、建筑工程、煤炭及金属矿山充填等场景实现转化应用，建立了固废就地消纳、 CO_2 就近矿化、产品就近工程应用的产业化推广模式。

1、胶凝材料及辅助胶凝材料的规模化生产应用。项目开发的多源固废协同激发与 CO_2 矿化制备胶凝材料和辅助胶凝材料技术，已在河南焦作百奥恒新材料有限公司、江苏盐城市恒锐新材料有限公司、宁夏嘉恒绿色低碳新材料有限公司及中国建筑东北设计研究院有限公司等单位开展规模化生产线建设和稳定运行示范，总产能达400万吨/年，碳排放降低90%以上，形成适用于混凝土、砂浆、预制构件和道路材料的低碳胶凝材料产品。相关产品以赤泥、钢渣、镁渣、矿渣、粉煤灰、石膏等固废为主要原料，可取代传统硅酸盐水泥使用，支撑建材企业降低能耗、降低碳排放和提升固废资源化利用水平。

2、高活性辅助胶凝材料、固碳混凝土制品的工程应用。项目开发的高活性辅助胶凝材料、轻质高强骨料、固碳砌块、透水砖及混

凝土制品制备技术，已在华润电力（广西）有限责任公司、香港科技园、香港排水工程、中国建筑东北设计研究院有限公司及新鸿基地产等工程或应用场景中开展示范应用。通过常温常压水化-碳化协同养护、骨料表面矿化改性和晶型定向调控，提升了固废基建材制品的强度、体积稳定性和耐久性，为装配式建筑、市政工程、海绵城市和园区建设提供了低碳建材解决方案。

3、道路工程与基础设施应用。项目形成的低碳胶凝材料、高活性辅助胶凝材料和轻质骨料，可用于路床、道路基层、底基层、路基固化和生态透水铺面等工程。相关技术已支撑乌玛北高速公路、乌银高速、沿黄高速、省道 201 线盐池郝家台至马儿沟段工程、省道 303 线平罗滨河大道至沙湖段公路工程、省道 205 线（国道 629 线）中卫至下小河段公路工程、中宁及盐池等农村公路项目工程、银川市力成路启元路及望通路雨污分流改造工程等 10 余条公路项目等道路工程应用，目前应用道路工程总长超过 1220 km，累计消纳固废 600 万吨以上，解决了传统水泥稳定材料固废掺量低、收缩开裂和长期水稳定性不足等问题，推动矿冶固废在交通基础设施中的高掺量、规模化、高值化利用。

4、金属矿山及煤矿充填应用。项目开发的“赤泥/尾矿基胶凝材料+金/铁尾矿砂”绿色低碳充填材料技术，已在河北省矾山磷矿有限公司、苏尼特右旗朱日和铜业有限责任公司、辽宁万华企业集团有限公司、朝阳万泰矿业有限公司、晋能控股三元煤业等矿山场景中开展应用或示范。相关技术可用于采空区充填、工作面注浆加固、堵水止漏和巷道喷浆支护等环节，实现尾矿、煤矸石、粉煤灰

及有色金属冶金固废的协同处置，提高充填体早期强度、长期稳定性和重金属固化能力，支撑矿山绿色安全开采。

十、主要技术成果：

授权项目名称	知识产权类别	国（区）别	授权号
混凝土掺和料及煅烧煤矸石制备混凝土掺和料的方法	发明专利	中国	ZL201010606022.4.
一种水泥基材料碳化再利用方法和一种碳酸钙品须材料	发明专利	中国	ZL202110558982.6
一种利用废弃混凝土砂粉制备纳米二氧化硅的方法	发明专利	中国	ZL202110231082.0
一种可控低强度矿井充填材料	发明专利	中国	ZL202011346171.1
一种固废大掺量生态水泥组合物	发明专利	中国	ZL202110870277.X
一种矿井充填水泥及其制备方法和应用	发明专利	中国	ZL202310155591.9
一种超细铁尾砂充填胶凝材料及其制备方法	发明专利	中国	ZL 202210040335.0
一种利用废石散体灌浆构建人造关键层治理采空区的方法	发明专利	中国	ZL202310260176.X
一种超细尾砂胶结充填料浆絮凝网络形成时间测试方法	发明专利	中国	CN202210040335.0
一种尾矿微粉及其制备方法	发明专利	中国	CN202310265351.4
一种尾矿再利用制砂装置	实用新型	中国	CN202220862614.0
一种尾矿循环制砂系统	实用新型	中国	CN202220863012.7

十一、创新推广贡献：

本项目面向有色金属及矿冶固废规模化消纳与 CO₂ 矿化固碳协同治理需求，集成了以赤泥、锂渣、镁渣、铜渣、金尾矿、钢渣等为代表的多源矿冶固废活性提升与品质稳定化、加速 CO₂ 矿化及成套装备、协同激发制备低碳胶凝材料和低碳建材、绿色矿山充填材料制备与应用等关键技术，形成了“固废预处理-CO₂ 矿化固碳-低碳建材/充填材料制备-工程规模化应用”的全链条技术体系。成果有力推进有色金属、钢铁、建材、采矿等行业“双碳”目标实现以及固废源头减量、资源化利用和无害化处置，解决了矿冶固废活性低、成分波动大、CO₂ 矿化转化率低、建材化高掺量利用困难、充填体低温早强不足及重金属浸出风险高等行业共性难题，构建并延伸了跨企业、跨行业、跨区域的固废协同利用与低碳循环产业链，对促进有色金属及矿冶行业绿色低碳高质量发展具有突出贡献。