

2025 年度四川省科学技术进步奖候选项目公示信息

一、项目名称：钛精矿高效冶炼钛渣关键技术开发及应用

二、提名者：四川省金属学会

三、提名意见：该项目开展了大量基础研究和技術升级工作。针对进口电炉难以适应本地原材料特性，导致钛精矿冶炼效率低的难题，通过数值模拟和试验验证，研究了电流、电压、加料布局等对熔池形貌和冶炼效果的影响，解决了钛渣冶炼过程中传热及热量分布不明、加料供电制度匹配困难等问题，形成了基于熔池高度变化的电流电压阶梯匹配及加料技术；研究分析了钛渣电炉停炉时间与炉内渣铁层凝固状态的关系，建立了钛渣电炉停炉执行边界，形成了停炉、恢复供电、加料、出炉等关键参数的动态调控技术；通过理论计算与试验，建立了烟气温度与输入功率、烟道冷却相互作用关系预测模型，形成了烟气温度控制技术。通过系列研究，形成了高效冶炼条件下电炉稳定运行集成技术，解决了攀枝花钛精矿冶炼效率低的行业技术难题。获得授权发明专利 7 项，软件著作权 1 项，发表论文 13 篇。成果已实现产业化应用，25.5MVA 钛渣电炉年产量由不足 5 万吨提升至 6.12 万吨以上，为构建攀枝花钛精矿熔盐氯化生产高端钛产品技术体系奠定了核心原料基础。为国家战略资源创新开发做出了重要贡献，为后续钛渣冶炼技术及装备发展提供了良好且可持续的研究平台，经济效益和社会效益显著。经审查，提名书相关栏目填写符合要求。经公示，完成单位、完成人员排序无异，同意申报四川科技进步奖评审。提名该项目为 2025 年度四川省科学技术进步奖。

四、推荐奖种：四川省科学技术进步奖

五、主要完成单位：攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司、攀钢集团钛业有限责任公司、东北大学、重庆大学、成都先进金属材料产业技术研究院股份有限公司、攀钢集团研究院有限公司

六、主要完成人：肖军、韩可喜、李凯茂、李宝宽、李涛、马勇、宋兵、李孟臻、崔贺楠、叶良军、陈贤幕、何查克、邱淑兴、王建、王丽萍、胡松、荣涛

七、项目简介：

为解决我国高端钛产业对进口优质钛精矿依赖，实现产业链自主可控，攀钢全力发展基于高钙镁钛资源熔盐氯化生产高端钛白粉及海绵钛技术体系。钛渣是产业体系的核心基础原料，但由于早期对钛渣冶炼技术认识不足，引进的乌克兰装备及技术难以适应高钙镁钛精矿冶炼。表现出化料困难、塌料频繁、电炉启停时间长、炉衬维护困难、烟气温度高等系列问题，导致钛渣冶炼效率低、达产困

难，生产成本居高不下，严重影响后续钛产业发展。2016 年以来，攀钢联合东北大学、重庆大学等多家单位开展产学研联合攻关，通过基础理论研究、数值模拟、工艺及关键装备集成创新，攻克了高钙镁钛精矿生产钛渣效率低的技术难题，主要创新点如下：

（1）通过基础研究、数值模拟和试验验证，构建了大型钛渣电炉全要素数值模型，研究了电流、电压、加料布局等对熔池形貌和冶炼效果的影响，解决了钛渣冶炼过程中传热及热量分布不明、加料供电制度匹配困难等行业技术难题，突破了钛渣冶炼过程“黑匣子”共性问题。开创了国内钛渣电炉数值模拟及应用技术先河。形成了基于热量分布及供电特性的加料供电匹配技术；

（2）创建了钛渣电炉停炉时间与渣铁层凝固动态变化模型，建立了钛渣电炉停炉动态执行边界，构建了渣铁界面高度控制基础理论，解决了电炉启停困难，无标准可依的行业难题，提高了钛渣电炉启停效率；

（3）通过模拟研究，明确了电流、电压对熔池形貌的影响机理，建立了基于熔池高度变化的供电制度动态调整基本原则。突破了功率提升与炉衬维护难以两全的行业难题，提高了供电效率；

（4）建立了钛渣电炉输入功率、烟气温度、冷却传热三者相互作用模型，形成降低烟气温度系列优化方案，解决了烟气系统对冶炼效率提升的限制性问题。

项目共申请发明专利 10 项，其中已获得授权 7 项，软件著作权 1 项，发表论文 13 篇，其中 SCI 检索 4 篇，中文核心 7 篇，会议论文 2 篇。创建了提高钛渣电炉冶炼效率关键理论、技术体系。该成果在攀钢集团钛业有限责任公司成功应用，实施后电炉送电功率提升 3.43MW，冶炼周期缩短 2.04h，吨渣冶炼电耗降低 185.72kWh/t，钛渣年产量由不足 5 万吨提升至 6.12 万吨/年以上，突破设计值，年均创效 4361.43 万元。实现了国产钛精矿冶炼效率全面提升，为攀枝花钛资源熔盐氯化生产高端钛产品奠定了坚实的原料基础，为保障国家战略资源稳定，实现资源创新开发做出了重要贡献，为后续钛渣冶炼技术及装备发展提供了良好且可持续的研究平台。

八、主要知识产权和标准规范等目录

专利及软件著作权

| 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家 | 授权号（标准编号） | 权利人（标准起草单位） | 发明人（标准起草人） | 状态 |
|--------|-------------------|----|------------------|------------------|------------|----|
| 授权专利 | 一种钛渣冶炼电炉加料的方法 | 中国 | ZL201710785010.4 | 攀钢集团研究院有限公司 | 肖军、李凯茂、韩可喜 | 有效 |
| 授权专利 | 一种自动配加料冶炼钛渣的方法和系统 | 中国 | ZL202111045750.7 | 攀钢集团研究院有限公司 | 肖军、李凯茂、邱淑兴 | 有效 |
| 授权专利 | 一种钛渣电炉烟气温度预测方法 | 中国 | ZL202111313949.3 | 攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司 | 李凯茂、肖军、王东生 | 有效 |
| 授权专利 | 一种钛渣冶炼方法 | 中国 | ZL202210950377.8 | 攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司 | 李凯茂、肖军 | 有效 |

| | | | | | | |
|-------|--------------------------|----|------------------|------------------|------------------------|----|
| 授权专利 | 一种电炉挂渣层的维护方法 | 中国 | ZL202210967665.4 | 攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司 | 肖军、李凯茂、何查克 | 有效 |
| 授权专利 | 钛渣冶炼电炉及其监控方法 | 中国 | ZL201710233300.8 | 攀钢集团研究院有限公司 | 韩可喜、肖军、李凯茂、宋兵、刘娟、赵青娥 | 有效 |
| 授权专利 | 一种利用水冷杆测量钛渣电弧炉熔池深度的装置和方法 | 中国 | ZL202110061643.7 | 东北大学 | 李宝宽、李奇、李孟臻、欧海彬、韵晨成、黄雪驰 | 有效 |
| 软件著作权 | 谐波发计算矿热炉内电磁场计算软件 | 中国 | 2021SR1967442 | 东北大学 | - | 有效 |

论文专著目录

| 序号 | 论文（专著） | 年卷页码 | 国内作者 |
|----|--|-------------------------|-------------------|
| 1 | 钛渣电弧炉中的多物理场和还原反应模型/东北大学学报 | 2022 年 43 卷 206-213 页 | 李宝宽、欧海彬、于洋、李孟臻 |
| 2 | Numerical simulation of coupling multi-physical field in electrical arc furnace for smelting titanium slag/钢铁研究学报（英文版） | 2023 年 30 卷 2194-2209 页 | 崔贺楠、李涛、白晨光、谭敏、朱玉林 |
| 3 | 中空、实心电极电炉熔炼钛渣过程中电弧特性的对比研究/钢铁钒钛 | 2024 年 45 卷 19-27 页 | 李孟臻、李宝宽、于洋、肖军 |
| 4 | 焦炭粒度对钛渣冶炼影响研究/钢铁钒钛 | 2023 年 44 卷 39-44 页 | 李凯茂、肖军、马勇、宋兵、邱淑兴 |
| 5 | 不同还原剂对攀枝花钛精矿冶炼钛渣影响研究/中国有色冶金 | 2018 年 47 卷 35-38 页 | 肖军 |