

# 关于 2025 年度四川省科学技术奖拟提名项目的公示

**项目名称：**基于多模态协同的钛白基料粒度多级调控机制研究及应用

**提名者：**四川省金属学会

**提名意见：**该项目针对硫酸法钛白产品同质化严重的问题和智能化升级的发展需求，通过系统的实验研究、设备开发、大数据分析和数值模拟研究，揭示了“工业钛液→金红石TiO<sub>2</sub>”全流程纵向+横向的粒子粒度关联规律，首次开发了水解晶种质量在线判定仪、建立了基于机器学习的偏钛酸粒度软测量模型和基于数值模拟的TiO<sub>2</sub>粒子粒度预测模型，形成了多模态协同的钛白基料粒度控制制备技术。研究成果已实现产业化应用，社会经济效益显著。项目实施期间获授权发明专利 15 件，发表论文 16 篇，创新性显著。提名该项目为2025年度四川省科学技术进步奖。

**提名奖项：**四川省科学技术进步奖

**完成人：**路瑞芳，刘婵，董立春，吴健春，韩春辉，李小勇，孙蔷，杨芳，张剑，刘伟，薛剑波，石瑞成，杜灵

**完成单位：**攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司，重庆大学，攀钢集团钒钛资源股份有限公司，东北大学，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

## 项目简介:

项目针对纳米级粒子水解晶种质量表征与调控、非线性高复杂变量下偏钛酸粒度动态优化、煅烧过程跨越巨大尺度下TiO<sub>2</sub>粒度预测和闭环调控等行业共性技术难题，开展了水解晶种到偏钛酸、再到基料TiO<sub>2</sub>的全流程粒度关联机制研究，通过自动化装备、工业大数据、仿真模拟等多学科融合技术研究，形成了基于多模态协同的钛白基料粒度多级调控技术。形成创新成果如下：

创新点 1：纳米级水解晶种粒子质量表征与调控。获得了纳米级晶种质量的调控手段，构建了其与偏钛酸粒度的关联规律，开发了世界首套晶种质量在线判定仪并实现工业长周期运行，解决了高精度、高可靠性、高稳定性判定晶种质量的行业共性技术难题，实现了水解晶种质量的智能调控。

创新点 2：非线性高复杂变量下偏钛酸粒度动态优化。揭示了“水解晶种-偏钛酸-TiO<sub>2</sub>”粒度全流程演变机制和系统关联规律，行业内首次构建基于机器学习的偏钛酸粒度软测量模型，实现了偏钛酸粒度的科学预判和动态优化，解决了偏钛酸粒度定向调控的技术难题，形成了不同粒度钛白基料对应偏钛酸的动态控制技术。

创新点 3：煅烧过程 TiO<sub>2</sub>粒度模型预测与闭环调控。建立了多元掺杂比例和 TiO<sub>2</sub> 粒度之间的数学模型；突破了宏观-介观-微观跨越巨大尺度的同步数值求解，形成了煅烧参数对 TiO<sub>2</sub> 粒度的预测模型，解决了煅烧过程粒度精准化、实时化、闭环化控制的行业关键难题，

实现了  $\text{TiO}_2$  粒度的智能优化和定量调控，形成了水性涂料、造纸、色母粒、油墨等不同应用需求钛白粉的万吨级规模化生产。

项目获授权中国发明专利14件、国外发明专利1件、软件著作权1项，修订国家标准1项；发表论文16篇，研究成果支撑完成博士学位论文1篇。不同应用需求钛白粉如水性涂料用产品的细度和白度、造纸专用产品的水分散性和对比率等均达到或优于日本石原R930产品，色母粒专用产品的压滤值、对比率均达到或优于泛能拓TR28产品。成果已在2家企业5条生产线进行了4年以上的推广应用，钛白产能超22万吨/年，累计新增销售额29.65亿元、新增利润4.23亿元、新增税收5497.3万元。项目成果经第三方评价认为：总体技术达到国际先进水平，其中在线水解晶种调控技术居国际领先水平。

## 主要知识产权和标准规范目录

序号	知识产权(标准)类别	知识产权(标准)具体名称	授权号 (标准编号)	授权(标准发布)日期	权利人 (标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	发明专利	水解外加晶种质量的在线检测系统	ZL202211070624.1	2024/8/6	攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司	刘婵, 路瑞芳, 吴健春, 王小慧
2	发明专利	小径距窄分布偏钛酸的制备方法	ZL202211211561.7	2024/2/2	攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司, 东北大学, 重庆大学	路瑞芳, 刘婵, 吴健春, 杨芳, 孙蕾, 董立春
3	发明专利	锌掺杂偏钛酸制备方法及硫酸法钛白生产方法	ZL202310992152.3	2025/9/19	攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司, 东北大学	路瑞芳, 刘婵, 杨芳, 吴健春, 孙蕾
4	发明专利	水解外加晶种质量的在线判定方法	ZL202211070911.2	2023/10/13	攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司	刘婵, 路瑞芳, 吴健春, 王小慧
5	发明专利	偏钛酸粉体的制备方法	ZL202211190103.X	2024/6/14	攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司, 东北大学, 重庆大学	路瑞芳, 刘婵, 吴健春, 杨芳, 孙蕾, 董立春
6	发明专利	一种大粒径长条形钛白粉及制备方法和应用	ZL202110889821.5	2023/10/13	攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司	吴健春, 路瑞芳, 刘婵, 石瑞成
7	发明专利	用于浊度检测过程的消泡装置	ZL202211070618.6	2025/8/22	攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司	刘婵, 路瑞芳, 吴健春, 杨芳
8	发明专利	一种控制偏钛酸二次团聚体粒度的方法	ZL202111287701.4	2022/10/4	东北大学, 攀钢集团研究院有限公司	孙蕾, 逯博, 路瑞芳, 刘婵, 吴健春, 刘慧, 胡贤忠, 程晓哲, 杨芳, 王小慧, 阎富生
9	发明专利	制备金红石二氧化钛的方法	ZL202211300405.8	2023/11/24	攀钢集团研究院有限公司	石瑞成, 吴健春, 路瑞芳, 刘婵
10	软件著作权	工业钛液外加晶种水解工艺控制软件 V1.0	软著登字第7707330号	2021/7/5	攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司	/

11	期刊论文	工业钛液制备水解晶种粒径影响因素研究	/	钢铁钒钛 2024,45(01):34-39	钒钛资源综合利用国家重点实验室,攀钢集团研究院有限公司,重庆大学,东北大学	路瑞芳*,董立春,杨芳,孙蕾,吴健春,刘婵
12	期刊论文	基于机器学习的偏钛酸粒度软测量建模研究	/	钢铁钒钛 2021,42(02):36-42	钒钛资源综合利用国家重点实验室,攀钢集团研究院有限公司,重庆大学化学化工学院,东北大学冶金学院	路瑞芳,刘婵,孙伟,吴健春,孙蕾*
13	期刊论文	Numerical simulation of a rotary kiln for fine control of the rutile titanium dioxide crystal size during calcination process	/	Chemical Engineering Research&Design: Transactions of the Institution of Chemical Engineers 2024, 204: 53-66	钒钛资源综合利用国家重点实验室,攀钢集团研究院有限公司,中国科学院过程工程研究所,中国科学院大学化学工程学院	Tian Yujie*, Lu Ruifang*, Li Fei, Lu Bona, WangWei,Liu Chan, Cheng Xiaozhe 田于杰*, 路瑞芳*, 李飞, 鲁波娜, 王维, 刘婵, 程晓哲
14	期刊论文	Investigation on the structure evolution of rutile TiO <sub>2</sub> during calcination of mixed-salt-treated metatitanic acid	/	Journal of Crystal Growth 2023, 602: 126985	钒钛资源综合利用国家重点实验室,攀钢集团研究院有限公司,东北大学冶金学院,重庆大学化学化工学院,攀枝花东方钛业有限公司	Lu Ruifang*, Liu Chan, Wu Jianchun, Wu Yi-Xun, Zhang Qiang, Sun Qiang* 路瑞芳*, 刘婵, 吴健春, 吴义勋, 张强, 孙蕾*
15	学位论文	硫酸法制备金红石型二氧化钛关键工艺优化及反应机制研究	/	重庆大学 2024.06 (博士学位)	重庆大学	路瑞芳